TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

D. Nurmämmedow, M. Handöwletow

KOSMIKI GEODEZIÝA

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

D. Nurmämmedow, M. Handöwletow, Kosmiki geodeziýa.

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby, Aşgabat – 2010 ý.

Giriş

Kosmos giňişligini özleşdirmek Yeriň emeli hemrasyny goýberilen gününden başlady. Raketa tehnikasynyň we kosmonawtikanyň ösmegi geodezistleriň öňünde gaty çylşyrymly we özboluşly meseleleri goýdy. Mysal üçin, bütin Yeri bir koordinatalar ulgamyna getirmek zerurlygy, başlangyç we ugry ylalaşykly döwlet geodeziki torlaryň koordinatalaryny Yeriň massasynyň ortasy bilen baglanyşdyrmak zerurlygy ýüze çykdy. Ýeriň emeli hemralarynyň hereketleri ýerin çekiş güýjiniň meýdanynda bolup geçýär, şol sebäpli bu meýdany öwrenmek wajyp meseleleriň biri bolup durýar.Yeriň emeli hemralarynyň we kosmiki raketalaryň tizliginiň ýokarlylygy sebäpli, täze ölçeýji gurallary we ol maglumatlary gaýtadan işlemek ulgamlaryny döretmeklik zerurlygy döredi. Başga tarapdan bolsa hemralaryň özleri geodeziki meseleleri çözmeklige ýardam berdi. Sol meseleleriň netijesinde kosmiki geodeziýa täze ugr döredi.

Yeriň grawiatasion meýdanynda hereket edýän kosmiki abzallaryň we şol meýdanyň häsiýetlerini kosmiki serişdeleriň kömegi bilen Ýeriň üstundäki nokat bilen baglanyşdyrmak kosmiki geodeziýanyň meselesidir. Kosmiki geodeziýanýň medseleleri, kosmiki gurallaryň koordinatalaryny, ölçemeleriň netijesinde ugruny, aralygy we tizlikini kesgitlemäge esaslanandyr. Ugry ölçemek surata almagyň we radiotehniki abzallaryň kömegi bilen kesgitlenýär. Tizligi bolsa, radiotehniki serişdeleriň we lazerleriň kömegi bilen ölçenýär.

Koordinatalary belli bolan stansiýadan we koordinatalary belli bolmadyk stansiýadan Yeriň emeli hemrasynyň koordinatasyny kesgitländen soň belli bolmadyk stansiýanyň koordinatasyny kesgitlemek bolýar. Ýeriň emeli hemrasynyň hereketi grawiatasion meýdanynyň täsirinde bilup geçýär hemranyň hereketini koordinat görnüşde öwrenmek, grawiatasion meýdan barada maglumatlary almak bolýar.

Emeli hemralara gözegçiligiň netijeside geodeziki meseleleri çözmek çylşyrymly matematiki meseleleriň biri bolup dürýar.

Dürli materiklerde ýerleşen nokatlaryň arasyndaky geodeziki arabaglanyşygy hemralaryň kömegi bilen kesgitlemek mümkiçiliöreýär. Şeýle geodeziki arabaglanyşyk belli bir koordinatlar ulgamy beýleki koordinatalar ulgamyna geçmeklige we tersine mümkinçiligi döreýär. Materikleriň arasy uzak bolýanlygy sebäpli bu meseläni geodeziki usullaryň (triangulýasiýa we poligonometriýa) komegi bilen çözmek mümkin däldir. Hemralaryň hereketlerine gözegçilik etmek nookatlaryň koordinatalaryny ýaly wajyp meseleleri çözmeklige mümkinçilik döredýär.

Geodeziki işleriň ulgamynda kosmiki geodeziýanyň ähmiýeti. Ýeriň emeli hemralarynň (ÝEH) kömegi bilen gözegçiligiň netijesinde geodeziki meseleleriň çözülişi.

Geodeziki işleriň ulgamynda kosmiki geodeziýanyň örän uly ähmiýeti bardyr. Sebäbi maýda masştably topografiki ýa-da atlas kartalar düzülende kosmosdan alnan kosmiki suratlar esasy kartografiki material bolup hyzmat edýär. Kosmiki geodeziýa ýer üstüniň nokatlarynyň we ýeriň grawitasion meýdanynda kosmiki aparatlarynyň özara ýerleşişini şeýle hem bu meýdanyň häsiýetini öwrenýär. Kosmiki geodeziýanyň meselelerini çözmeklik, ýerden kosmiki aparatlaryň kordinatalaryny kesgitlemeklige esaslanýar. Şol sebäpli koordinatalar sistemasyny Ýer bilen berk baglanyşdyrmak maksada laýyk bolar. Şeýle koordinatalar sistemasyny Ýeriň aýlanma okynyň ortaça ýagdaýynyň üsti bilen we başlangyç merdiananyň üstleri bilen kesgitleýärler.

Ýeriň hemralarynyň koordinatalary esasan hem aralyk, burç ölçegleriniň netijesinde we bagly tizliklere görä kesgitlenilýär. Aralyk we bagly tizlikler radiotehniki we lazer serişdeleri bilen ölçenilýär. Burçlary ölçemeklik topografiki ýa-da radiotehniki serişdeleri bilen geçirilýär. Topografiki usulda ýyldyzyň ugry bilen hemranyň arasyndaky burçlar ölçenilýär. Burç etalonynyň rolyny ýyldyzly älem oýnaýar, sebäbi ýyldyzlaryň arasyndaky burç aralygy belli. Burçlary ölçemegiň bu usuly asylma çyzygy bilen bagly däl, şonuň üçin hem onuň gowy taraplary örän ulydyr. Kosmiki geodeziýanyň usullary şu aşakdaky meseleleri çözmäge mümkinçilik berýär:

- geodeziki daýanç torlaryny döretmekligi dünýä geodeziki torlaryny döretmeklige çenli ösdürmek:
- ýeriň emeli hemralarynyň we raketalaryň koordinatalaryny ýeriň üstündäki stansiýalardan seredip kesgitlemek:
- ÝEH-lardan seretmek boýunça suw üsti we suw asty korabllaryň we samolýotlaryň koordinatalaryny kesgitlemek:
- ÝEH-yň ýerine-ýetirýän metrologiki we her-hilli geofiziki ölçeglerini geografiki baglamak;
- ÝEH-yndan telesiomka we surat sýomkalarynyň esasynda Ýerleri kartalaşdyrmak.

Kosmiki geodeziýanyň göni we ters meseleleri.

Kepleriň orbitasynyň *i, Ω, w, a, e,* M_0 we t_0 göwrüminiň elementleri berlen bolsun, *x, y, z* koordinatalary we ÝEH-nyň *t* käbir pursatynyň *x, y, z* tizliklerini düzüjileri kesgitlemeklik talap edilýär.

Mesele şu aşakdaky tertipde çözülýär:

ÝEH -nyň n hereketiniň ortaça bahasy şu aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$n = \frac{\mu}{a^{\frac{3}{2}}}; \qquad \mu = 398600{,}5 \cdot 10^9 \ m^3 / s^2 \qquad (1)$$

t pursadynyň M ortaça anomaliýasy şu aşakdaky formula boýunça hasaplanylýar:

$$M = M_0 + n(t - t_0)\ (2)$$

E eksentriki anomaliýasyna baglylykda Kepleriň deňlemesi çözülýär:

$$E - e\sin E = M \qquad (3)$$

Kiçi ekssentritetlerde Kepleriň deňlemesini ýönekeý iterasiýa usulynda çözmek mümkin. Onuň üçin, E üçin başlangyç ýakynlaşdyrmalary şu aşakdaky Gýuldeniň formulasy boýunça tapýarys.

$$tgE^{(0)} = \frac{\sin M}{sosM - e} \qquad (4)$$

we ýene-de yzygiderli hasaplap başlaýarys.

$$\begin{cases} E^{(1)} = E^{(o)} + e\sin E^{(0)} \\ E^{(2)} = E^{(1)} + e\sin E^{(1)} \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ E^{(n)} = E^{(o)} + e\sin E^{(n-1)} \end{cases} \qquad (5)$$

tä $\left|E^{(n)} - E^{(n-1)}\right|$-iň bahalary E hasaplamalarynyň takyklygyndan az bolýança hasaplaýarys. Eger-de e $\leq$ 0,2 iterasiýanyň prosesi (5)-nji formula boýunça çalt gabat gelýär.

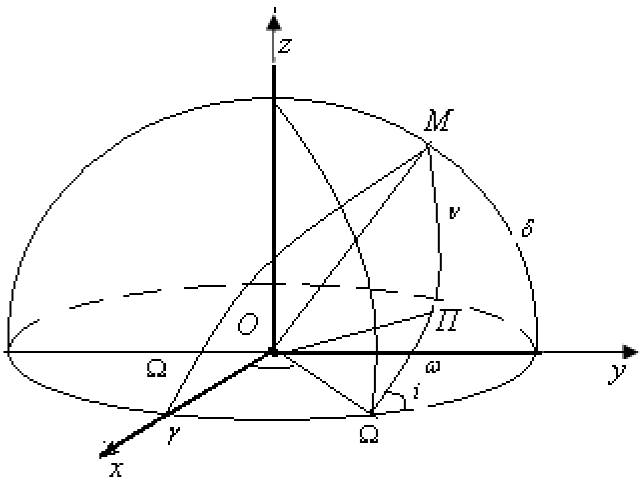
Kiçi ekssentrisetde ýönekeý iterasiýa usuly uly ýakynlaşdyrylan sanlary talap edýär: şonuň üçin eýýäm e > 0,3 bolanda nýutonyň iterasiýa prosesini ulanmak oňat bolar onuň gabat geliş tizligi çaltdyr. Nýutonyň iterasiýasy şu aşakdaky shema boýunça ýerine-ýetirilýär.

$$E^{(n)} = E^{(n-1)} - \frac{E^{(n-1)} - e\sin E^{(n-1)} - M}{1 - e\cos E^{(n-1)}} \tag{6}$$

E häzirlikçe hasaplamalar takyklygynyň çäginde bolanda üýtgemesi galmaýar. Ekssentritetiki anomaniýany şu aşakdaky hatar görnüşinde görkezmek mümkin:

$$\begin{aligned} E = {} & M + e\sin M + \frac{e^2}{1\cdot 2}\sin 2M + \frac{e^4}{1\cdot 2\cdot 3\cdot 2^2}\left[3^2 \sin 3M - 3\sin M\right] + \\ & + \frac{e^4}{1\cdot 2\cdot 3\cdot 4\cdot 2^2}\left[4^3 \sin 4M - 4\cdot 2^3 \sin 2M\right] + \\ & + \frac{e^5}{1\cdot 2\cdot 3\cdot 4\cdot 5\cdot 2^2}\left[5^4 \sin 5M - 5\cdot 3^4 \sin 3M + \frac{5\cdot 4}{1\cdot 2}\sin M\right] + \\ & + \cdots + \frac{e^k}{1\cdot 2\cdot 3\cdots k\cdot 2^{k-1}}\left[\begin{matrix} k^{k-1}\sin kM - k\cdot(k-2)^{k-1}\sin(k-2)M + \\ \dfrac{K\cdot(k-1)}{1\cdot 2}(k-4)^{(k-1)}\sin(k-4)M \end{matrix}\right] + \cdots \end{aligned} \tag{7}$$

Ýeriň emeli hemralarynyň (ÝEH) gönibur çly koordinatalaryny hasaplamagyň formulalaryndan netije çykarmak üçin 1-nji surata seredip göreliň, geosentriki älem sferasy şekillendirilen.



1-nji surat.

Goý, $\Omega\Pi$ dugasy şu sfera bilen orbitanyň tekizliginiň kesişmesi bolsun. Onda $O\Omega$ orbitanyň tekizliginiň baglaýjy çyzygy bolar. Orbitanyň $o\Omega M$ tekizliginiň ýagdaýy i we Ω burçlary bilen belgilenendir. M nokatda Ýeriň emeli hemralarynyň koordinatalaryny şu aşakdaky formula boýunça kesgitläp bileris:

$$x = r\cos \prec Mox; \quad y = r\cos \prec Moy; \quad z = r\cos \prec Moz; \qquad (8)$$

$M\Omega y$ sferiki üçburçlukda taraplar şeýle görkezilýär:

$$\gamma\Omega = \Omega; \quad \Omega M = w + v = u,$$
$$< M\Omega\gamma = 180^0 - i.$$

şu üçburçlukdan:

$$\cos < Mox = \cos(w+v)\cos\Omega - \sin(w+v)\sin\Omega\cos i \qquad (9)$$

$M\Omega y$ üçburçlygynda tapýarys

$\Omega y = 90^0 - \Omega, \quad \Omega M = w + v = u, \quad < M\Omega y = i$

bu ýerde

$$\cos < Moy = \cos(w+v)\sin\Omega - \sin(w+v)\cos\Omega\cos i \qquad (10)$$

Moz-i kesgitlemek üçin $M\Omega z$ üçburçlygyndan $z\Omega = 90^0, \quad \Omega M = w+v = u,$
şol üçburçlukdan şu aşakdakyny alýarys.

$$\cos < Moz = \sin i\cos(w+v) \qquad (11)$$

(9), (10), (11)-nji formulalar bilen kesgitlenilýän kosinusyň bahalaryny (8)-nji formulany goýup, koordinatalary hasaplamak üçin formulalary alýarys:

$$\begin{cases} x = r\left[\cos(w+v)\cos\Omega - \sin(w+v)\sin\Omega\cos i\right] \\ y = r\left[\cos(w+v)\sin\Omega - \sin(w+v)\cos\Omega\cos i\right] \\ \quad z = z\sin(w+w)\sin i \end{cases} \qquad (12)$$

x, y, z tizligiň düzüjilerini hasaplamak aşakdaky formula esasyndatapylýar

$r = \dfrac{a(1-e^2)}{1+e\cos v}; \qquad r^2 v = c; \quad p = \dfrac{c^2}{\mu} = a(1-e^2)$ tizligi
düzüjileri aşakdaky ýaly edip alyp bolar, radius-wektor boýunça

$$v_r = \sqrt{\frac{\mu}{p}}e\sin v \qquad (13)$$

transwersal boýunça (orbitanyň tekizligindäki radius-wektora perpendikulýar):

$$v_n = rv = \sqrt{\frac{\mu}{p}}(1+e\cos v); \qquad (14)$$

bu ýerde tizligiň moduly şu aşakdaka deň bolar:

$$v^2 = \frac{\mu}{p}(1 + 2e\cos v) + e^2 \tag{15}$$

perisentrdäki tizlik (iň ýokarsy)

$$v_p = \sqrt{\frac{\mu}{p}(1+e)} \tag{16}$$

anogeýeniň tizligi (iň pes)

$$v_A = \sqrt{\frac{\mu}{p}(1+e)} \tag{17}$$

Wagt boýunça (12)-nji deňlemäni differensirläp, şu aşakdakyny alýarys.

$$\begin{cases} \dot{x} = \dot{r}\dfrac{x}{r} - r(\cos\Omega\sin u + \sin\Omega\cos u\cos i)\dot{v} \\ \dot{y} = \dot{r}\dfrac{y}{r} - (\sin\Omega\sin u + \cos\Omega\cos u\cos i)\dot{v} \\ \dot{z} = r\cos u\sin i\,\dot{v} + \dfrac{z}{r}\dot{r} \end{cases} \tag{18}$$

(13) we (14)-nji formulalar bilen kesgitlenýän $\dot{r}$ we $\dot{v}$-nyň bahalaryny ýokarky formulalara goýuşdyryp $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$ üçin deňlemäni şu aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$
\left\{
\begin{aligned}
\dot{x} &= \sqrt{\frac{\mu}{p}} e \sin v (\cos u \cos \Omega - \sin u \sin \Omega \cos i) - \\
&- \sqrt{\frac{\mu}{p}} (1 + e \sin v)(\sin u \cos \Omega - \cos u \sin \Omega \cos i) \\
\dot{y} &= \sqrt{\frac{\mu}{p}} e \sin v (\cos u \sin \Omega + \sin u \cos \Omega \cos i) - \\
&- \sqrt{\frac{\mu}{p}} (1 + e \sin v)(\sin u \sin \Omega - \cos u \cos \Omega \cos i) \\
\dot{z} &= \sqrt{\frac{\mu}{p}} e \sin v \sin u \sin i + \sqrt{\frac{\mu}{p}} (1 + e \cos v) \cos u \sin i
\end{aligned}
\right. \tag{19}
$$

<u>Orbitanyň elementlerini koordinatalary we tizlik düzüjileri boýunça kesgitlemek (rahat hereketiniň ters meselesi).</u>

Goý x_0, y_0, z_0 kordinatalary we t_0 pursatda $\dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{z}_0$ tizligi düzüjiler berlen bolsun. Şol berlenler boýunça t_0 döwürde orbitanyň *(i, w,* Ω*, a, e, M)* $t=t_0$ elementlerini kesgitlemeklik talap edilýär. Bu (ters) meseläni şu aşakldaky tertipde çözmek mümkin:

1). Meýdanyň integralyny çözýäris:

$$
C_1 = y_0 \dot{z}_0 - z_0 \dot{y}_0; \quad C_2 = z_0 \dot{x}_0 - x_0 \dot{z}_0; \quad C_3 = x_0 \dot{y}_0 - y_0 \dot{x}_0; \tag{20}
$$

2). Ω dogýan arabaglaýjynyň uzaklygynyň we p orbitanyň parametriniň i gyşarmasyny kesgitleýäris.

$$\begin{cases} tgi = \dfrac{\sqrt{C_1^2 + C_2^2}}{C_3}; \quad tg\Omega = -\dfrac{C_1}{C_2}; \quad \cos i = \dfrac{C_3}{C}; \\ C = \sqrt{C_1^2 + C_2^2 + C_3^2}\,; \quad p = a(1 - e^2) = \dfrac{C^2}{\mu} \end{cases} \tag{21}$$

3). Energiýanyň integralyny hasaplaýarys:

$$\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2 = v_0^2 = \mu\left(\frac{2}{\mu} - \frac{1}{a}\right) \tag{22}$$

4). Orbitanyň uly ýarym okyny kesgitleýäris:

$$r^0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}\,; \qquad a = \frac{1}{\dfrac{2}{r_0} - \dfrac{v_0^2}{\mu}}; \tag{23}$$

5). Orbitanyň ekssentrisistetini hasaplaýarys.

$$e^2 = 1 - \frac{1}{\mu a}(C_1^2 + C_2^2 + C_3^2)\,; \tag{24}$$

6). t_0 seredilýän pursatynda v_0 hakyky anomaliýasyny kesgitleýäris:

$$tgv_0 = \frac{(x_0\,\dot{x}_0 + y_0\,\dot{y}_0 + z_0\,\dot{z}_0)\sqrt{a(1 - e^2)}}{\sqrt{\mu}\left[a\left(1 - e^2\right) - r_0\right]} \tag{25}$$

7). Ekssentriki anomaliýany kesgitleýäris:

$$tg\,\frac{E_0}{2} = \sqrt{\frac{1 - e}{1 + e}}\,tg\,\frac{v_0}{2} \tag{26}$$

8). Kepleriň deňlemesiniň esasynda ortaça anomaliýany kesgitleýäris:

$$M_0 = E_0 - e\sin E_0 \qquad (27)$$

9). Giňligiň argumentini kesgitleýäris.

$$u_0 = w + v_0 \qquad (28)$$

Onuň üçin (12)-nji formulanyň birini ulanmak hem mümkindi, ýöne olaryň kombinasiýasyny ulanmak we giňligiň argumentini şu aşakdaky formula boýunça kesgitlemek oňaýly bolar:

$$tgu_0 = \frac{r_0 \cos eci}{x_0 \cos\Omega + y_0 \sin\Omega} \qquad (29)$$

10). Iň soňunda bolsa perimerkeziň argumentini hasaplaýarys:

$$w = u_0 - v_0 \qquad (30)$$

ÝEH-nyň perimerkezden geçişiniň wagtyny hasaplaýarys:

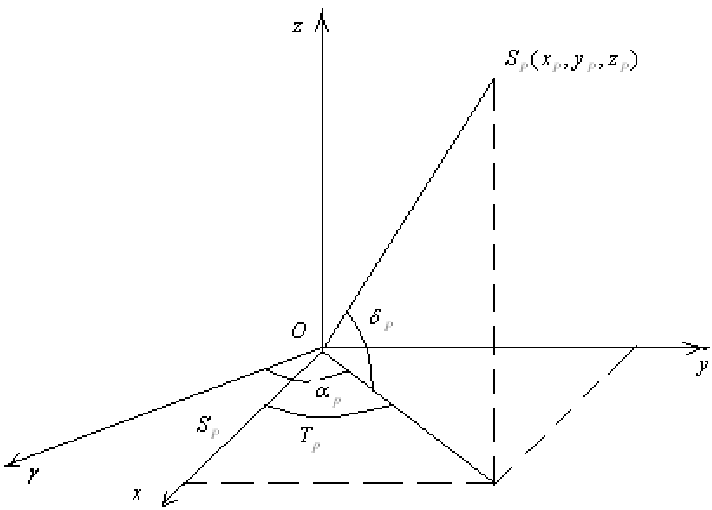
$$t_h = t_0 - \frac{a^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\mu}} M_0 \qquad (31)$$

Şunuň bilen meseläniň çözülşi gutarýar.

Kosmiki geodeziýada ulanylýan koordinat ulgamlary
a). Geomerkezli ýyldyz koordinat ulgamlary
b). Tonomerkezli ýyldyz koordinata ulgamlary

Geomerkezli sistemalar

Kordinatalaryň geomerkezli sistemalary bolup, Ýeriň agyrlyk merkezinde koordinatalaryň başlangyjy bolan islendik sistemalar bolup biler (2-nji sur).



2-nji surat.

Biz göniburçly giňişlik *k, y, z* geomerkezli koordinatalar sistemasyny, şeýle hem, ekwatorial *T*(ýa-da α) geomerkezli sistemasyny *α, Δ* ulanýarys.

Koordinatalar okuny kesgitleýäris:

- *z* oky Ýeriň aýlanma okunyň ortaça ýagdaýy bilen gabat gelýär we demirgazyga polažitel ugry bolýar;
- *x* oky başlangyç (griniki) astranoiki meridiananyň tizligine ugurdaşdyr we griniki ýarym şarynda položiteldir.

- y oky gündogar tarapa položitel ahyry bilen ugrukdyrylandyr. Bellemek gerek, x, o, z tekizligi griwiki meridiananyň geomerkezli tekizligi bolmaýar we gripiki-niň üstünden kesip geçmeýär. Geomerkezli gripiki meridiananyň ýagdaýy ýeterlik takyklykda (geodeziki meseleleri çözmek üçin) näbellidir we ony geodeziki tekizlik hökmünde ulanmak islenilmedik çylşyrymlylyga getirýär.

Ekwatorial koordinatalar sistemasynda: $T = S$-α-geomerkezli griniki sagat burçy, S-griniki ýyldyz wagty, x, δ, Δ-geomerkezli göni dogulmak, gyşarma we aralyk. 2-nji suratdan görnüşi ýaly $O\gamma$- bahardaky gije bilen gündiziň deňleşmesiniň nokadyna tarap, sputnik üçin şu aşakdaky deňlemeler emele gelýär:

$$\begin{cases} x_p = \Delta_p \cos\delta_P \cos T_p \\ y_p = -\Delta_p \cos\delta_P \sin T_p \\ z_p = \Delta_p \sin\delta_P \end{cases} \qquad (1)$$

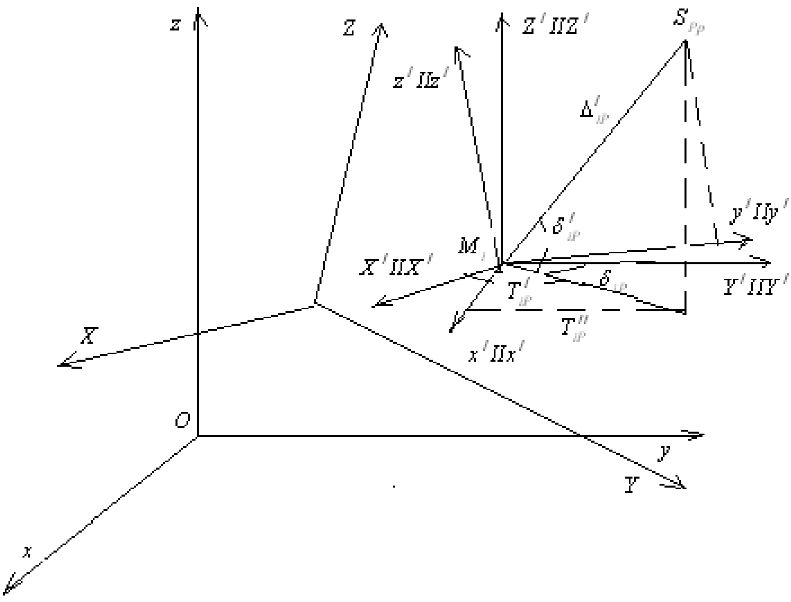
$$\begin{cases} tgT_p = y_P : x_P \\ tg\delta_P = \dfrac{z_P}{\left|\sqrt{x_P^2 + y_P^2 + z_P^2}\right|} \end{cases} \qquad (2)$$

$$\begin{cases} \sin T_p = -\dfrac{y_P}{\left|\sqrt{x_P^2 + y_P^2}\right|} \\ \cos T_p = \dfrac{x_P}{\left|\sqrt{x_P^2 + y_P^2}\right|} \end{cases} \qquad (3)$$

$$
\begin{cases}
\sin\delta_p = -\dfrac{z_P}{\left|\sqrt{x_P^2 + y_P^2 + z_P^2}\right|} \\
\cos\delta_p = \dfrac{x_P}{\left|\sqrt{x_P^2 + y_P^2 + z_P^2}\right|}
\end{cases} \qquad (4)
$$

Topomerkezli sistemalar

Topomerkezli diýip, Ýeriň üstündäki islendik M_i (ölçeg ulgamy) nokadynyň başlangyç koordinatalar sistemasyna aýdylýar.



3-nji surat.

3-nji suratdan görnüşi ýaly *X' II X, Y' II Y, Z' II Z* oklarynyň ugry bilen *x', y', z'* göni burçly giňişlik topomerkezli sistemany, edil. *X' II X, Y' II Y, Z' II Z* oklarynyň ugry bilen *X', Y', Z'* sistemasy ýaly ondan başga-da, olarda bar bolan ekwatorial topomerkezli sistemany ulanmak bolar.ekwatorial sistemasynyň koordinatalaryny T', (α'), δ', Δ' (x, y, z sistemasyna laýyklykda) we T'^{r}, (α'^{r}), δ'^{r}, $\Delta'^{r} = \Delta'$ (x, y, z sistemasyna laýyklykda) belgileri bilen belleýäris. S_{pn} sputnigi we M_i serediş stansiýasy üçin (1) – (8)-nji formulalara laýyklykda şu aşakdakylary alyp bolar:

$$\begin{cases} x'_{ip} = \Delta'_{ip} \cos\delta'_{ip} \cos T'_{ip} \\ y'_{ip} = -\Delta'_{ip} \cos\delta'_{ip} \sin T'_{ip} \\ z'_{ip} = \Delta'_{ip} \sin\delta'_{ip} \end{cases} \qquad (5)$$

$$\begin{cases} tgT'_{ip} = -y'_{ip} : x'_{ip} \\ tg\delta'_{ip} = \dfrac{z'_{ip}}{\left|\sqrt{x'^2_{iP} + y'^2_{iP} + z'^2_{iP}}\right|} \\ \Delta'_{ip} = \left|\sqrt{x'^2_{ip} + y'^2_{ip} + x'^2_{ip}}\right| \end{cases} \qquad (6)$$

$$\begin{cases} \sin T'_{ip} = -\dfrac{y'_{ip}}{\left|\sqrt{x'^2_{iP} + y'^2_{iP}}\right|} \\ \cos T'_{ip} = \dfrac{x'_{ip}}{\left|\sqrt{x'^2_{iP} + y'^2_{iP}}\right|} \end{cases} \qquad (7)$$

$$\begin{cases} \sin\delta'_{ip} = -\dfrac{z'_{ip}}{\left|\sqrt{x'^2_{iP} + y'^2_{iP} + z'_{ip}}\right|} \\ \cos\delta'_{ip} = \dfrac{x'_{ip}}{\left|\sqrt{x'^2_{iP} + y'^2_{iP} + z'_{ip}}\right|} \end{cases} \qquad (8)$$

we

$$\begin{cases} X'_{ip} = \Delta'_{ip} \cos \delta'^{r}_{ip} \cos T'^{r}_{ip} \\ Y'_{ip} = -\Delta'_{ip} \cos \delta'^{r}_{ip} \sin T'^{r}_{ip} \\ Z'_{ip} = \Delta'_{ip} \sin \delta'^{r}_{ip} \end{cases} \tag{9}$$

$$\begin{cases} tgT'^{r}_{ip} = -Y'_{ip} : X'_{ip} \\ tg\delta'_{ip} = \dfrac{z'_{ip}}{\left|\sqrt{X'^{2}_{iP} + Y'^{2}_{iP}}\right|} \\ \Delta'^{r}_{ip} = \Delta'_{ip} \end{cases} \tag{10}$$

şeýle hem

$$\sin T'^{r}_{ip} = -\frac{Y'_{ip}}{\left|\sqrt{x'^{2}_{ip} + y'^{2}_{ip}}\right|}; \cos T'^{r}_{ip} = -\frac{X'_{ip}}{\left|\sqrt{x'^{2}_{ip} + y'^{2}_{ip}}\right|}; \tag{11}$$

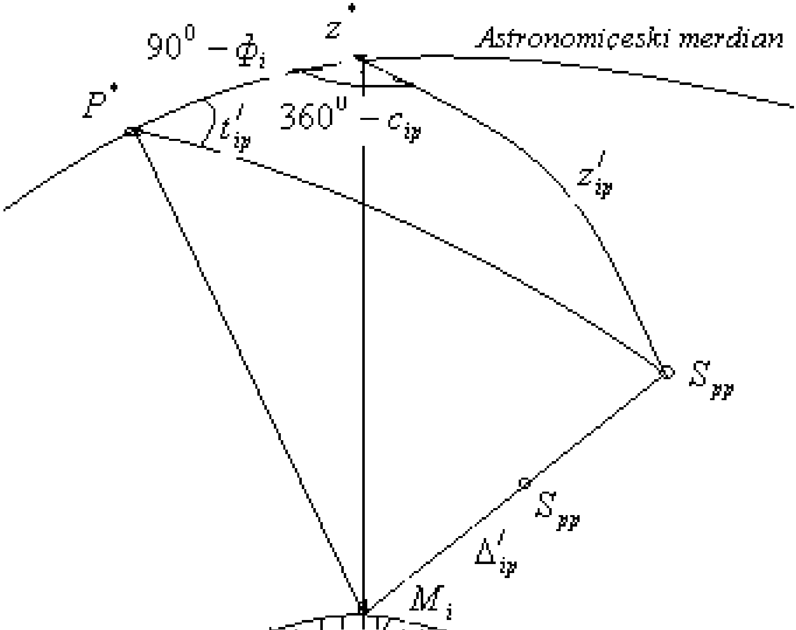
$$\sin \delta'^{r}_{ip} = -\frac{Z'_{ip}}{\left|\sqrt{x'^{2}_{ip} + y'^{2}_{ip} + z'^{2}_{ip}}\right|}; \quad \cos \delta'^{r}_{ip} = -\frac{\sqrt{X'^{2}_{ip} + Y'^{2}_{ip}}}{\left|\sqrt{X'^{2}_{ip} + Y'^{2}_{ip} + Z'^{2}_{ip}}\right|}; \tag{12}$$

Azimutal goýlan enjamlary ulanylanda r (astranomiki zenit aralygy) we $\bar{a}_1$ (demirgazyk tarapdan gündogar tarapa sanalýan astranomiki azimut) gorizont koordinatalar sistemalaryny ulanmaklygyň zerurlygy ýüze çykýar. Onda (5)-nji we (9)-njy deňlemelere λ_i astronomiki uzaklykly we L_i geodeziki giňlikli ýerli merdianalardan sanalýan topomerkezi t'_{ip}, t'^{r}_{ip} sagat burçlaryny girizmek zerur bolup durýar. Uzaklygyň hasabaty griniki astronomiki meridianadan gündogar tarapyna sanalýar, ýagny:

(5)-nji deňlemäniň sistemasynda şu aşakdakyny alarys:

$$\begin{cases} x'_{ip} = \Delta'_{ip}\left(\cos\lambda_i \cos\delta'_{ip} \cos t'_{ip} + \sin\lambda_i \cos\delta'_{ip} \sin t'_{ip}\right) \\ \\ y'_{ip} = \Delta'_{ip}\left(\sin\lambda_i \cos\delta'_{ip} \cos t'_{ip} - \cos\lambda_i \cos\delta'_{ip} \sin{}'_{ip}\right) \end{cases} \qquad (13)$$

(13)-nji deňlemeden, sferiki astronomiýadan belli bolan gatnaşyklary ulanyp, $M^3{}_i$ nokadynda ýerleşýän ölçeýji üçin: (4-surat) (aşaky suratda dünýäniň p^* demirgazyk polýusy bilen z^* astronomiki zenigiň aralygynda we S_{pp} sputnigiň S'_{pp} proýeksiýasynda emele gelen sferiki üçburçlyk görkezilen).



4-nji surat. Astronomiki parallektiki üçburçlyk.

$$
\begin{cases}
\cos\delta_{ip}^{/}\cos t_{ip}^{/} = \cos\varphi_i \cos z_{ip} - \sin\varphi_i \sin z_{ip} \cos\alpha_{ip} \\
\cos\delta_{ip}^{/}\sin t_{ip}^{/} = -\sin z_{ip} \sin\alpha_{ip} \\
\sin\delta_{ip}^{/} = \sin\varphi_i \cos z_{ip} + \cos\varphi_i \sin z_{ip} \cos\alpha_{ip}
\end{cases} \tag{14}
$$

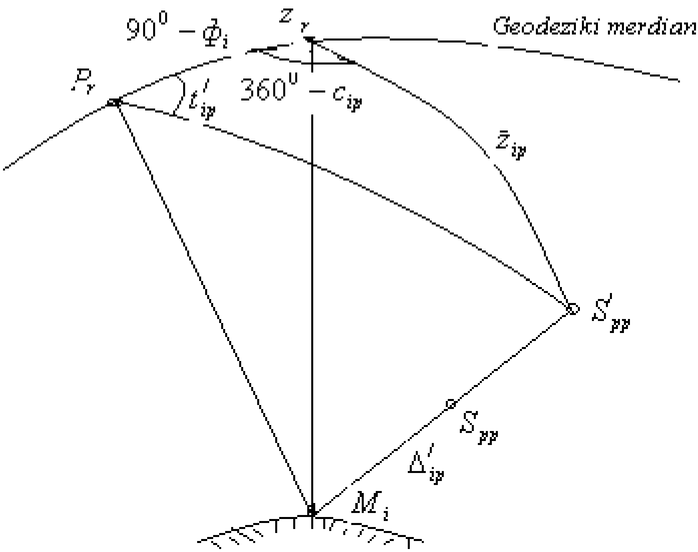
bu ýerden

$$
\begin{cases}
x_{ip}^{/} = \Delta_{ip}^{/}\left[\cos\lambda_i (\cos\varphi_i \cos z_{ip} - \sin\varphi_i \sin z_{ip} \cos\alpha_{ip} - \sin\lambda_i \sin z_{ip} \sin\alpha_{ip}\right] \\
y_{ip}^{/} = \Delta_{ip}^{/}\left[\sin\lambda_i (\cos\varphi_i \cos z_{ip} - \sin\varphi_i \sin z_{ip} \cos\alpha_{ip} - \cos\lambda_i \sin z_{ip} \sin\alpha_{ip}\right] \\
z_{ip} = \Delta_{ip}^{/}(\sin\varphi_i \sin z_{ip} - \cos\varphi_i \sin z_{ip})
\end{cases} \tag{15}
$$

(9)-njy sistema görä:

$$
\begin{cases}
x_{ip}^{/} = \Delta_{ip}^{/}(\cos L_i \cos\delta_{ip}^{/r} \cos t_{ip}^{/r} + \sin L_i \cos\delta_{ip}^{/r} \sin t_{ip}^{/r}) \\
y_{ip}^{/} = \Delta_{ip}^{/}(\sin L_i \cos\delta_{ip}^{/r} \cos t_{ip}^{/r} - \cos L_i \cos\delta_{ip}^{/r} \sin t_{ip}^{/r})
\end{cases} \tag{16}
$$

we ondan soňra, geodeziki zenit aralygyny r bilen, geodeziki azimuty A bilen belläp we p_r geodeziki referens polýusy bilen geodeziki z_r zenitiniň we S'_{pn} sputnigiň proýeksiýasynda emele gelen üçburçlykdaky (5-sur) deňlemäni ulanyp:



5-nji surat. Geodeziki parallektiki üçburçlyk.

$$\begin{cases} \cos\delta_{ip}^{/r}\cos t_{ip}^{/r} = \cos B_i \cos z_{ip} - \sin B_i \sin \bar{z}_{ip} \cos A_{ip} \\ \cos\delta_{ip}^{/r}\sin t_{ip}^{/r} = -\sin z_{ip} \sin A_{ip} \\ \sin\delta_{ip}^{/r} = \sin B_i \cos z_{ip} + \cos B_i \sin \bar{z}_{ip} \cos A_{ip} \end{cases} \tag{17}$$

Şeýlelik bilen şu aşakdakylary alarys:

$$\begin{cases} X_{ip}^{/} = \Delta_{ip}^{/}\left[\cos L_i (\cos B_i \cos z_{ip} - \sin B_i \sin z_{ip} \cos A_{ip}) - \sin L_i \sin z_{ip} \sin A_{ip}\right] \\ Y_{ip}^{/} = \Delta_{ip}^{/}\left[\sin L_i (\cos B_i \cos z_{ip} - \sin B_i \sin z_{ip} \cos A_{ip}) - \cos L_i \sin z_{ip} \sin A_{ip}\right] \\ Z_{ip}^{/} = \Delta_{ip}^{/}(\sin B_i \sin z_{ip} - \cos B_i \sin z_{ip} \cos A_{ip}) \end{cases} \tag{18}$$

(15) we (18) formulalardan ters gatnaşyklaryny çykarmak mümkindi, ýagny, *ã$_{in}$, z$_{in}$, (A$_{in}$, Z$_{in}$)* funksiýalary ýaly ululyklary $X'_{in}, y'_{in}, (X'_{in}, Y'_{in}, Z'_{in})$ aňlatmak mümkin.

Ýöne bu gatnaşyklary $p^*Z^*Sp'_n$ sferiki üçburçlykdan gösgöni alanyň gowydyr.

$$\begin{cases} ctg\,\alpha_{in} = \sin\varphi_i ctgt'_{ip} - \cos\varphi_i tg\delta'_{ip}\cos ect'_{ip} \\ \cos z_{in} = \sin\varphi_i \sin\delta'_{ip} - \cos\varphi_i \cos\delta'_{ip}\cos t'_{ip} \end{cases} \qquad (19)$$

$P_r\, Z_r\, Sp'_n$ üçburçlykdan şu aşakdakyny alarys.

$$\begin{cases} ctgA_{in} = \sin B_i ctgt'_{ip} - \cos B_i tg\delta'_{ip}\cos ect'_{ip} \\ \cos z_{in} = \sin B_i \sin\delta'_{ip} - \cos B_i \cos\delta'_{ip}\cos t'_{ip} \end{cases} \qquad (20)$$

Eger-de (19) we (20) – deňlemelerde t'_{in} –leri T'_{in}-λ_i,-∂, t^{in}_{in}-i T^{in}_{in} + L_i-∂ çalşyp we olarda (6)-(8) we (10) – (12) deňlemeleri goýuşdyrsaň, onda olar şu aşakdaky görnüşe eýe bolarlar:

$$\begin{cases} tg\,\alpha_{ip} = \dfrac{x'_{ip}\sin\lambda_i - y'_{ip}\cos\lambda_i}{(x'_{ip}\cos\lambda_i + y'_{ip}\sin\lambda_i)\sin\varphi_i - z'_{ip}\cos\varphi_i} \\ \cos z'_{ip} = \left[\left(x'_{ip}\cos\lambda_i + y'_{ip}\sin\lambda_i\right)\cos\varphi_i + z'_{ip}\sin\varphi_i\right]\Delta^{i-1}_{ip} \end{cases} \qquad (21)$$

$$\begin{cases} tgA_{ip} = \dfrac{x'_{ip}\sin L_i - y'_{ip}\cos L_i}{(x'_{ip}\cos L_i + y'_{ip}\sin L_i)\sin B_i - z'_{ip}\cos B_i} \\ \cos z'_{ip} = \left[\left(x'_{ip}\cos L_i + y'_{ip}\sin L_i\right)\cos B_i + z'_{ip}\sin B_i\right]\Delta^{i-1}_{ip} \end{cases} \qquad (22)$$

Topomerkezli koordinatalaryň deregine biz köplenç ugrukdyryjy kosinuslar sistemasyny (ýa-da parametrleri) ulanarys. Olary $\alpha'_{in}, b'_{in}, c'_{in}$ (x', y', c' sistemasynda) we $A'_{in}, B'_{in}, C'_{in}$ (X', Y', Z' sistemasynda) belgiläris we (21) we (22)-nji formulalardan şu aşakdaky formulalary çykararys:

$$\begin{cases} tg\alpha_{ip} = \dfrac{a'_{ip}\sin\lambda_i - y'_{ip}\cos\lambda_i}{(a'_{ip}\cos\lambda_i + b'_{ip}\sin\lambda_i)\sin\varphi_i - c'_{ip}\cos\varphi_i} \\ \\ \cos z'_{ip} = \left(a'_{ip}\cos\lambda_i + b'_{ip}\sin\lambda_i\right)\cos\varphi_i + c'_{ip}\sin\varphi_i \end{cases} \tag{23}$$

$$\begin{cases} tgA_{ip} = \dfrac{A'_{ip}\sin L_i - B'_{ip}\cos L_i}{(A'_{ip}\cos L_i + B'_{ip}\sin L_i)\sin B_i - C'_{ip}\cos B_i} \\ \\ \cos z'_{ip} = \left(A'_{ip}\cos L_i + B'_{ip}\sin L_i\right)\cos B_i + C'_{ip}\sin B_i \end{cases} \tag{24}$$

(24)-nji deňleme öňler başga usullar bilen hem alnypdyr.

Kosmiki geodeziýanyň esasy meseleleri. Wagt şkalalary.

Wagtyň pursadyna, wagtyň aralygyndan tapawutlylykda döwür (epoha) diýlip atlandyrylýar. Esasan hem wagtyň üç görnüşini tapawutlandyrýarlar (döwür manysynda we aralyk manysyn-da): Bütindünýä UT, atom AT we efemerid ET. Sekuntlaryň dowamlylygy, ýagny, wagtyň masştaby wagtlaryň görkezilen üç görnüşleri üçin hem her-hilidir. Şeýle hem olardan başga S ýyldyz wagty hem bardyr, ýöne ol dünýä wagty bilen takyk formula arkaly baglydyr.

1. Ýyldyz wagty

S ýyldyz wagty ýazky φ deňgünlilik nokadynda sagat burçy bilen ölçenilýär, şeýlelikde ol, göniden-göni Ýeriň gije-gündiz aýlanmasynyň ölçegi bolup durýar. Ýyldyz wagty *S*, α ýagtylgyçlaryň göni dogmasy we onuň *t* sagat burçy bilen şu aşakdaky gatnaşyk arkaly baglanyşyklydyr:

$$S = \alpha - t$$

Eger-de ýazky deň günliligiň hakyky nokady alnan bolsa, ýagny, hakyky ekwator we hakyky ekliptika kesişýän bolsa, onda hakyky ýyldyz wagty bilen iş salyşýandygymyz bolar. UT bütindünýä wagty ortaça grinwiki ýyldyz wagty bilen görkezilýär. UT 12^h plýus R_u ortaça deň günliligiň grinwiki sagat burçy ýaly kesgitlenilýär. Bu ýerde

$$R_u = 18^h 38^m 45^s{,}836 + 8640184^s{,}542 T_u + 0^s{,}0929 T_u^2$$

Bu ýerde T_u- grinwiki ortaça ýarymgün pursatyndan hasaplanan ýulian ýüzýyllygynyň sany.

Ýyldyzlaryň geçişine seredip, grinwiki hakyky ýyldyz wagty kesgitlenilýär, ony bolsa soňra wagtyň doldurmasy bilen dogurlaýarlar we UT-ny almak üçin formula goşýarlar.

2. Dünýä wagty

Ylmyň ösüşiniň praktiki taýdan maksada laýyk bolmagy üçin, Ýeriň öz okunyň daşyndan aýlanmagyny we Ýeriň Günüň töwereginden aýlanmagynyň ölçeg birligi hökmünde ulanmagy göz öňünde tutulýar. Wagt birligi hökmünde ortaça sekunt, gün gije-gündiziniň 1/86400 bölegine deň bolan we ortaça gün gije-gündiziniň barlag döwrüne deň bolan birlikler kabul edilen. Şeýlelik bilen, bütindünýä wagtynyň UT şkalasy, Ýeriň öz okunyň daşyndan aýlanmasy netijesinde astronomiki barlaglaryň esaslaryny emele getirýär. UT-niň üç görnüşi bolýar:

UTO-astronomiki barlaglaryň esasynda alnan, grinwiki meridiananyň ortaça gün wagty.

UT1 – bu Ýeriň polýusynyň hereketiniň hasaba alyp korrektirowka edilen UTO-dyr.

UT2-bu Ýeriň aýlanyşynyň tizliginiň pasyl üýtgemesini hasaba alyp, korrektirowka edilen UT1-dir. Bütindünýä wagty graždan wagtynyň hasabynyň esasynda ýatyr. Gerek bolan wagtynda bütindünýä wagtynyň şkalasyndan ýyldyz wagtynyň şkalasyna sferiki astronomiýasyndan belli bolan formulalar boýunça geçirýärler.

3. Efemerid wagty

Häzirki zaman fizikasynyň we astronomiýasynyň köp meseleleri çözülende deň däl wagt şkalasyndan peýdalanmak gadagan. Şonuň üçinem wagtyň deň şkalasyny işläp düzmek we ony praktikada ornaşdyrmak zerurlygy ýüze çykdy. 1960-njy ýylda ölçeg we agyrlyk boýunça 11-nji baş konferensiýada wagtyň etalony hökmünde 1900 ýyl döwrüniň tropiki ýylynyň uzaklygyny kabul etmeklik tassyklandy. Bu etalony esaslandyrylan wagtyň şkalasy efemerid wagty ET diýen ady aldy. Bu şkalada 1 gije-gündiz 1900-ýyl döwrüniň tropiki ýylynyň *1/365, 242 19878177* bölegine görä kesgitlenilýär. Efemerid sekundy bir gije-gündiziň 1/86400 bölegi ýaly, ýa-da 1900,0 ýyl döwrüniň tropiki ýylynyň 1/31556925, 9747 bölegi ýaly kesgitlenilýär. Wagt ölçeginiň efemerid birligini we şkalasyny täzeden döretmek, şu birlige bagly bolan, ortaça gün wagtynyň (UT) üsti bilen ýerine-ýetirilýär we onuň doldurmasyny (poprowkasyny) Aýyň ýörite astronomiki barlaglarynyň kesgitlemelerine görä şu aşakdaky formulanyň kömegi bilen kesgitlenilýär:

$$ET = UT + \Delta T$$

Aýyň barlaglarynyň köp sanly hasaplamalarynyň netijesinde we gün sistemasynyň içki planetasyndan şu aşakdaky kesgitleme üçin:

$$\Delta T = 24,349^s + 72,318^s x\, T + 29,950^s\, T + 1,82144^s x\, B \qquad (1)$$

Bu ýerde T-1900 ýyl döwründen ýulian ýüz ýyllygyna çenli döwür.

B-aýyň fluktuasiýa uzaklygy $(B = L_e - L_e)$

4. Atom wagty

Ellinji ýyllaryň ahyrynda iň kadalylygy we öndürijiligi goşa seziýada kwantly generator görkezdi. 1958-nji ýyldan 1965-nji ýyla çenli seziýaly kwant generatorynyň ýygylygy efemerid wagt sistemasynda kesgitlenýärdi. 1967-nji ýylda ölçegler we agramlar boýunça XIII-nji Baş konferensiýanyň çözgüdine laýyklykda wagtyň ölçeg birligini atom wagtynyň şkalasyna laýyklykda atom sekundasynda ölçemeklik kabul edildi. Atom sekundasy 133-seziýa atomynyň esasy ýagdaýynyň iň inçe strukturasy bilen energetiki geçelgesiniň rezonans ýygylygynyň arasyndaky derejede 91926 31770 yrgylda eýedir. Atom wagty AT belgisi bilen belgilenýär.

Gözegçiligiň fotografiki usullary, gözegçiligiň radiotehniki usullary.

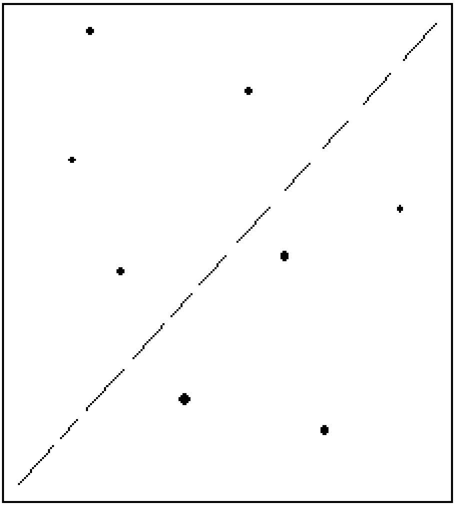
Gözegçiligiň fotografiki usullary

ÝEH – ny gözegçilik etmek üçin optiki (esasan hem fotografiki we lazerli) we radiotehniki usullary ulanylýar. Fotografiki usuly ÝEH-nyň α göni ýokary galmasyny we δ gyşarmasyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär, radiotehniki usullary bolsa, uzagagidijiligini, radial tizligini we ÝEH-nyň ugruny kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

ÝEH-lary gözegçilik etmegiň fotografiki usuly kese koordinatalar sistemasynda (azimut we zenit aralygy) we ekwatorial (göni ýokary galmagy we gyşarmagy) sistemasynda geçirlip bilner. Birinji ýagdaýda daýaqnç ugry otwes çyzygy bilen bagly bolup durýar, ikinji ýagdaýda bolsa daýanç ugry ýyldyzlar boýunça berilýär. gözegçiligi ekwatorial koordinatalar sistemasynda ýerine-ýetirmek has oňaýly bolar, sebäbi gözegçiligiň netijeleri otwes çyzygynyň gyşarmasynyň täsirine gabat gelmeýär.

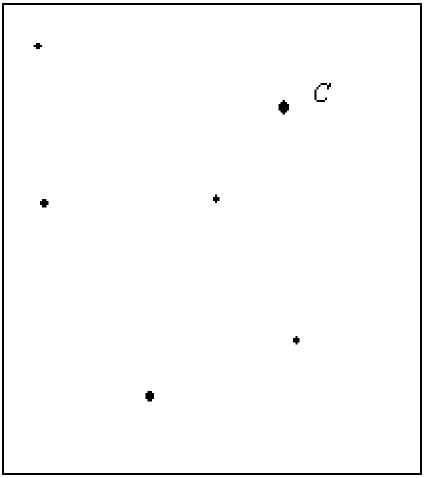
ÝEH-ny ýyldyzlar äleminiň fonunda fotografirleme işlerini geçirmek we gözegçiligiň wagtyny belläp, belli bolan astronomiki usullar bilen ÝEH-nyň gyşarmasyny we göni ýokary galmasyny kesgitleýärler. Adaty astronomiýa üçin käbir aýratynlyklar gözegçilik usullarynda ÝEH-nyň we ýyldyzlaryň hereketiniň burç tizliginiň her-hililigi esasynda emele gelýär. Ýyldyzlara baglylykda ÝEH-nyň hereketiniň kompensasiýasy üçin her-hili usullar ulanylýar, meselem:

Surata almak üçin kamerany ekwatorial goýýarlar we ýyldyzlary synlaýarlar, ol bolsa suratda nokat ýaly bolup görünýär: ýörite çekiji wagtyň bellenen pursatynda obýektiwi ýanýar, onuň netijesinde ÝEH-nyň şekili surat plastinkasynda ştrihli çyzyk görnüşinde alynýar (7-a surat): Ekwatorial goýlan surat kamerasynyň kömegi bilen ýyldyzlary surata almak.



7-a surat.

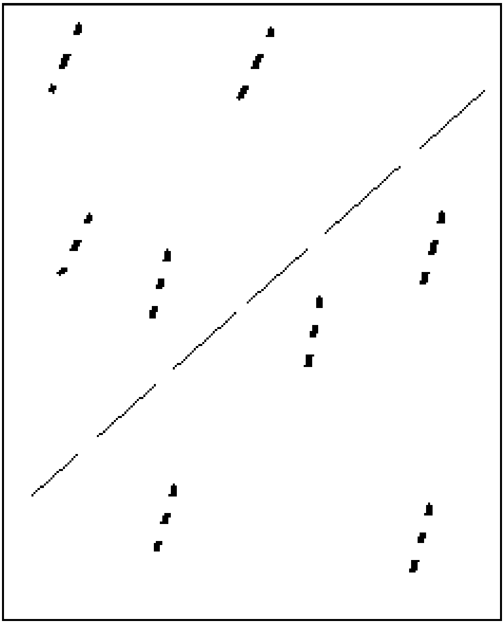
Kamera ýyldyzlara gözegçilik edýär, a ÝEH-nyň baglylyk hereketi surat plastinkasynyň aýlanmagy bilen kompensirlenýär, onda-da surat plastinkasynyň kadaly ýagdaýda ýerleşiş pursat bellenýär (Markowisanyň usuly: 7-b surat):



7-b surat.

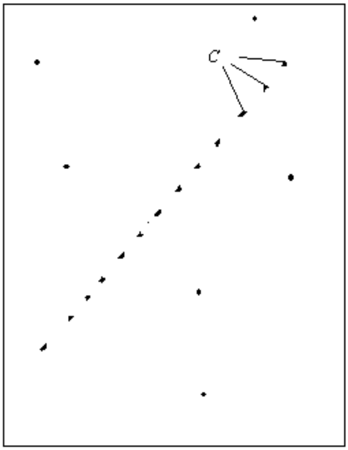
Surat plastinkalarynyň aýlanmasy bilen ÝEH-nyň hereketine baglylykda kompensasiýa bilen alnan ýyldyzlaryň suraty.

Kamera gymyldysyz berkidilýär, ýyldyzlaryň we ÝEH-nyň şekilleri ýöriteleşdirilen ýanyjynyň işiniň netijesinde ştrihli çyzyk görnüşinde alynýar (7-b surat).



7-ç surat. Gymyldysyz kamera bilen ýyldyzlaryň surata alnyşy.

Kamera ýyldyzlara gözegçilik edýär, a ÝEH-synda bolsa wagtyň belli bolan pursatynda her deň aralykda lampa ýanýar; ýyldyzlaryň we ÝEH-synyň şekili nokat görnüşinde alynýar . (7-g surat):



7-g surat. Lampanyň ýanmagy bilen ýyldyzlaryň surata alnyşy.

Surata alnan ýyldyzlar anyklanylýar, we her bellenen pursat üçin Birýyllykdan olaryň α we δ ekwatorial koordinatalary saýlanylýar, olar boýunça suratda δ we α cos δ koordinatalar sistemasy gurulýar we suratyň masştaby kesgitlenilýär. Ondan soňra ÝEH-nyň koordinatalaryny ölçemeklik geçirilýär, şol boýunça, suratyň masştabyny hasaba alyp, ÝEH-nyň ekwatorial koordinatalaryny kesgitlemek mümkin.

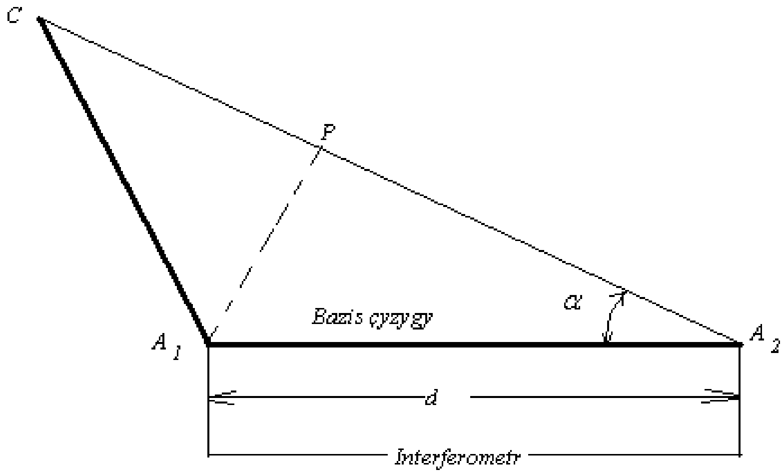
Gözegçiligiň radiotehniki usuly

Köpsanly radiotehniki usullarda ýokary ýygylykda radiotolkunlary generirleýän aktiw sputnikler ulanylýar. ÝEH-nyň gözegçiligi üçin iň köp ýaýran radiotehniki serişdeler şu aşakdakylardyr:

- ugurlary ölçemek üçin interferensionly sistemalar:
- baglylyk tizligini kesgitlemek üçin dopleriň sistemasy:
- uzaklygy ölçemek üçin sistemalar.

Optiki usullardan tapawutlylykda, radiotehniki usullarda ölçegler howanyň islendik şertlerinde gündiz hem-de gije ölçemek mümkin.

Ölçegleriň interferens sistemasynyň prinsipial (esasy) shemasy şu aşakdaky suratda görkezilen (8-nji surat).



8-nji surat. Interferens siostemasynyň shemasy.

Eger-de *C* sputnigi (ÝEH) antenanyň arasyndaky aralykdan has ýokary bolan aralykda ýerleşýän bolsa, onda $CA_1=CA_2$*–de* A_1P kesigi CA_2 –ä takmynan perpendikulýardyr diýip hasaplamak bolar. Interfepometr bilen bellenýän fazalaryň tapawudy PA_2 aralygyna proporsionaldyr we

$$\cos\alpha = \frac{PA_2}{A_1A_2}$$

Fazalaryň tapawudy bilen görkezilen PA_2 aralygynyň şu aşakdaky görnüşde görkezmek bolar:

$$L=k+a$$

bu ýerde *k*-interferometriň bellemeýän doly sikliniň sany; *a*-interferometrden sanalýan sikliň drob bölegi, *k*-nyň sany biri-birine has ýakyn ýerleşýän goşa antenaly ikinji interferometriň kömegi bilen ýa-da orbitanyň ýakynlaşdyrylan elementleriniň kömegi bilen kesgitlenilmegi mümkin.

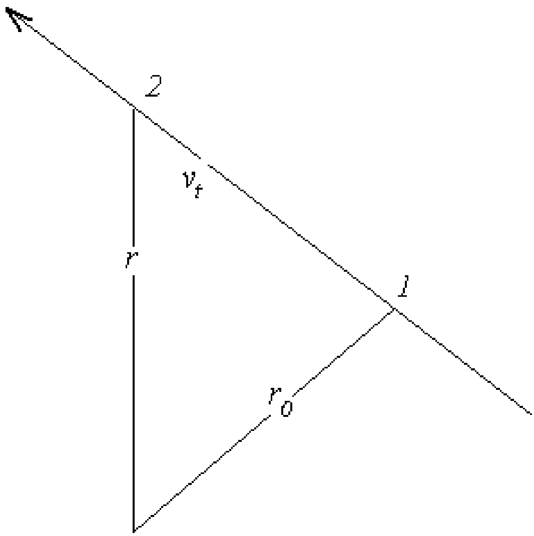
Eger-de radiosignalyň tolkunynyň uzynlygy λ bolsa, onda

$$\cos\alpha = \frac{l\lambda}{d} \tag{2}$$

Birinji antena baglylykda göni burç bilen ýene bir goşa antenany oturdyp, ikinji kosinusy alýarys we şeýlelik bilen sputnigiň (ÝEH) ugruny kesgitleýäris. Döpleriň effektini ulanyp, f_0-dan berilen we *f*-den kabul edilen signallaryň ölçenen ýygylyklaryň süýşmesiniň funksiýasy ýaly baglylyk tizligini kesgitleýärler.

$$\dot{r} = \frac{c}{f}(f - f_0) \tag{3}$$

bu ýerde *c*-ýagtylygyň tizligi: *r*-radial tizligi.



9-njy surat. Döppleriň effekitini ulanmak.

ÝEH-nyň synlanýan ulgamlar bilen gaty ýakynlaşan pursatynda (9-njy surat. 1 nokat) *r* radial tizligi nula deň, *a w* umumy tizligi bolsa transwersala deňdir. Ýene-de t sekuntdan sputnik (ÝEH) synlaýjydan şu aşakdaky aralyga deň bolan aralykda 2-nji nokatda bolar:

$$r = \sqrt{r_0^2 + u^2 t^2} \qquad (4)$$

Bu deňlemäni *t* boýunça differensirläp, şu aşakdakyny alarys:

$$r\dot{r} = v^2 t$$

ýa-da

$$\frac{t}{\dot{r}} = \frac{r}{v^2} = \frac{\sqrt{r_0^2 + v^2 t^2}}{v^2}$$

we

$$\left(\frac{t}{\dot{r}}\right)^2 = \frac{t}{v^2} + \frac{r_0^2}{v^4} \qquad (5)$$

belgiläp

$$y = \left(\frac{t}{\dot{r}}\right)^2, \quad x = t^2, \qquad (6)$$

$$a = \frac{1}{v^2}, \quad b = \frac{r_0^2}{v^4}, \qquad (7)$$

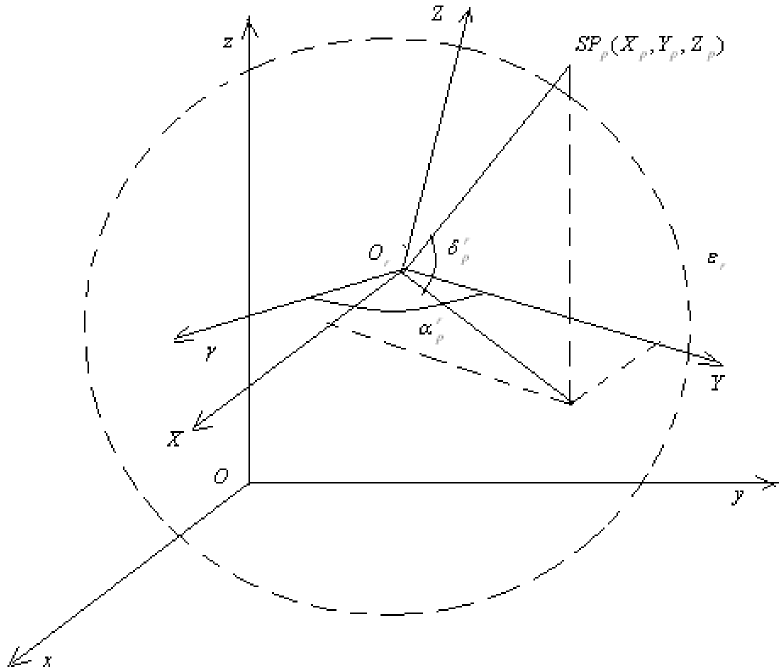
göni deňlemäni alarys:

$$y = ax + b \qquad (8)$$

t-niň her-hilli bahalary üçin Δf ýygylygynyň süýşmesini kesgitläp, y_i-den baglylyk tablisasyny alýarys. Ony kiçi inedördül usulynda işläp düzüp, *a* we *b*-niň ynamly bahalaryny alarys, *a* olardan bolsa r_o we W-niň bahalaryny almak bolar. Ýeriň üstündäki ulgamlardan ÝEH-laryna çenli uzaklygy kesgitlemeklik, ýerdäki ulgamdan ÝEH-laryna retransasiýa edilenden soňra goýberilen we kabul edilen signalyň modullanan fazalary boýunça ölçenen fazalaryň süýşmesine baglylykda geçirilýär.

Kosmiki geodeziýada ulanylýan koordinatalar ulgamlary. Referens koordinatalar ulgamlary. Ekwatorial referes koordinatalar ulgamlary

Referens koordinatalar sistemalary diýip, E_r geodeziki referens ellipsoidiniň O_r merkeziniň başlangyç koordinatalar sistemasyna aýdylýar.



6-njy surat.

Ilki bilen *X, Y, Z* göniburçly giňişlik referens koordinatalar sistemasyny we *B, L, H* klassiki geodeziki sistemasyny (E_r üste baglylykda geodeziki giňlik we geodeziki uzaklyk hem-de E_r üstüniň ýokarsynyň beýikligi) ulanýarys. Koordinatalar oklaryny kesgitleýäris. Goý, *Z* oky E_r referens-ellip-soidiniň aýlanma oky bilen gabat gelsin we ol Demirgazyk polýusyna ugrukdyrylan bolsun; *X* oky başlangyç (griniki) geodeziki meridianyna ugurdaş bolsun we onuň položitel ugry edil x okunyňky ýalydyr: Y oky bolsa gündogar tarapa ugrukdyrylan. Umumy ýagdaýda şu aşakdaky ýaly bolar:

$$X \neq x; \quad Y \neq y; \quad Z \neq z,$$

Ilki sany ýokarda görkezilen sistemadan başga-da käbir meselelerde *(xz)* başlangyç geodeziki meridiananyň tekizligine we *(xy)* geodeziki referens-ellipsoidiň ekwatorynyň tekizligine baglylykda T, δ, Δ meňzeş kesgitlenilýän, T^r, δ^r, Δ^r ekwatorial referens-koordinatalary diýip atlandyrylýan sistemany ulanýarys.

Ýokarky temada görkezilen (1) we (2) deňlemelere meňzeş güýç şu aşakdaky deňlemelerde hem bolar:

$$\begin{cases} X_p = \Delta_p^r \cos\delta_p^r \cos T_p^r \\ Y_p = -\Delta_p^r \cos\delta_p^r \sin T_p^r \\ z_p = \Delta_p^r \sin\delta_p^r \end{cases} \qquad (25)$$

$$\begin{cases} tgT_{ip}^r = -Y_p : X_p \\ tg\delta_{ip}^r = \dfrac{z_p}{\left|\sqrt{X_P^2 + Y_P^2}\right|} \\ \Delta_p^r = \left|\sqrt{X_p^2 + Y_p^2 + Z_p^2}\right| \end{cases} \qquad (26)$$

şeýle hem

$$
\begin{cases}
\sin T_p^r = -\dfrac{y_P}{\left|\sqrt{x_P^2 + y_P^2}\right|} \\
\cos T_p^r = \dfrac{x_P}{\left|\sqrt{x_P^2 + y_P^2}\right|}
\end{cases}
\qquad (27)
$$

$$
\begin{cases}
\sin \delta_p^r = -\dfrac{y_P}{\left|\sqrt{x_P^2 + y_P^2}\right|} \\
\cos \delta_p^r = \dfrac{x_P}{\left|\sqrt{x_P^2 + y_P^2}\right|}
\end{cases}
\qquad (28)
$$

Bir zady bellemek gerek, T^r, δ^r, Δ^r ekwatorial koordinatalary klassiki asman mehanikasynda we sferiki astronomiýasynda ulanylmaýar, sebäbi ähli asman jisimleri üçin T-T^r

δ-δ^r, Δ-Δ^r tapawutlary örän azdyr.

Diňe Aý üçin köne referens sistemalarynda olar belli ulylyklarda bolup bilerdiler. Ýöne ýakynda ýerleşýän ÝEH-nda (ýeriň emeli hemralary) bu tapawutlar göz öňünde tutulan bolmalydyr, aýratyn hem ýokary takyklykda global geodeziki meseleleri çözenlerinde zerur bolýar. *X, Y, Z* we *B, L, H* koordinatalarynyň arasynda belli bolan gatnaşyklar bar, ony bolsa biz indikide esasan hem Ýeriň fiziki üstündäki M_i nokady üçin ulanarys, we diňe aýyrma görnüşinde we deňeşdirme kiçi takyklykda, S_{pn}- Ýeriň emeli hemralary üçin (meselem, sputnigiň aşagyndaky nokatlar diýlip atlandyrylýan nokatlaryň ýerleşiş ýagdaýlary hasaplananda) şu aşakdakylary ýazmak mümkin:

$$\begin{cases} X_i = (N_i + H_i)\cos B_i \cos L_i \\ Y_i = (N_i + H_i)\cos B_i \sin L_i \\ Z_i = \left[N_i(1-e_r^2) + H_i\right]\sin B_i \end{cases} \quad (29)$$

bu ýerde $N_i = \dfrac{a_r}{\sqrt{1-e_r^2\sin^2 B_i}}$ - B_i, L_i, H_i nokatlaryndan ellipsoide geçirilen normalyň esasynda birinji dikligiň gyşarmasynyň radiusy.

E_r; A_r; l_r^2 – uly ýarym okunyň uzynlygy we E_r ekssentritetiň inedördüli. - B_i, L_i, H_i deňlemesi üçin ters gatnaşyk X_i, Y_i, Z_i funksiýalary ýaly geodeziki uzaklygy aýyrmagy talap edýär, onuň üçin şu aşakdaky takyk formulalary ýazýarys:

$$\begin{cases} tgL_i = -Y_i : X_i \\ \sin L_i = \dfrac{Z_i}{\left|\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}\right|} = \dfrac{Y_i}{(N_i + H_i)\cos B_i} \\ \cos L_i = \dfrac{X_i}{\left|\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}\right|} = \dfrac{X_i}{(N_i + H_i)\cos B_i} \end{cases}$$

(30)

Geodeziki giňligi, mysal üçin, şu aşakdaky ýaly görkezmek mümkin:

$$\begin{cases} \dfrac{Z_i}{X_i} = tgB_i \dfrac{N_i + H_i - N_i e_r^2}{(N_i + H_i)\cos L_i} \\ tgB_i = \dfrac{Z_i (N_i + H_i)\cos L_i}{X_i\left[(N_i + H_i) - N_i e_r^2\right]} = \dfrac{Z_i (N_i + H_i)}{\left|\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}\right|\left[(N_i + H_i) - N_i e_r^2\right]} \end{cases} \tag{31}$$

ýa-da

$$\begin{aligned} tgB_i &= \frac{Z_i}{\left|\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}\right|}\left(1 - \frac{N_i}{N_i + H_i} e_r^2\right)^{-1} = \\ &= \frac{Z_i}{\left|\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}\right|}\left[1 - e_r^2\left(1 + \frac{H_i}{N_i}\right)^{-1}\right]^{-1} \end{aligned} \tag{32}$$

Eger-de berlen mesele (ýagny, B_i deňlemesi X_i, Y_i, Z_i – bilen görkezilse) indikide diňe haçan-da i nokada Ýeriň fiziki üstünde ýerleşýän ýagdaýy üçin gabat gelse, onda şu deňsizlik $\dfrac{H_i}{N_i} < \dfrac{1}{8}10^{-2}$ mydama ýerine-ýeter.

(32)-nji deňlemäni hatarlara dargadyp

$$\left[1 - e_r^2\left(1 - \frac{H_i}{N_i}\right)^{-1}\right]^{-1} = 1 + e_r^2\left(1 - \frac{H_i}{N_i}\right)^{-1} + e_r^4\left(1 - \frac{H_i}{N_i}\right)^{-2} + e_r^6\left(1 - \frac{H_i}{N_i}\right)^{-3} + \cdots \tag{33}$$

$$\begin{aligned} \left[1 - e_r^2\left(1 - \frac{H_i}{N_i}\right)^{-1}\right]^{-1} &= 1 + e_r^2 + e_r^4 + e_r^6 + \cdots - e_r^2 \frac{H_i}{N_i} - \\ &- e_r^2\left(\frac{H_i}{N_i}\right)^3 + 2e_r^4 \frac{H_i}{N_i} + 3e_r^4\left(\frac{H_i}{N_i}\right)^2 - \cdots \end{aligned} \tag{34}$$

alarys.

Eger-de kesgitlenilýän giňlikde *0″, 001* ýalňyşlyk goýberilse, onda

$$e_r^2\left(\frac{H_i}{N_i}\right)^3,\ e_r^4\left(\frac{H_i}{N_i}\right)^2,\ e_r^6\left(\frac{H_i}{N_i}\right)$$ agzalary we kiçi agzalary hasaba almazdan oňmaly bolýar.

(34)-nji deňlemäni (32)-nji deňlemä goýmazdan öň, şu aşakdakylary hasaba alýarys:

$$1+e_r^2+e_r^4+e_r^6+\cdots=\frac{e_r^2}{1-e_r^2}=e_r^{/2}$$

ondan soňra şu aşakdakyny alýarys:

$$tgB_i=\frac{z_i}{\left|\sqrt{X_i^2+Y_i^2}\right|}(1+e_r^{/2}+q \qquad (35)$$

bu ýerde $q=-(e_r^2+2e_r^4)\frac{H_i}{N_i}+e_r^2\left(\frac{H_i}{N_i}\right)^2$

ýa-da N_i üçin formulany hasaba almak bilen

$$q=-(e_r^2+2e_r^4-\frac{1}{2}e_r^4\sin^2 B_i)\frac{H_i}{a_r}+e_r^2\left(\frac{H_i}{a_r}\right)^2 \qquad (36)$$

Goý, (36)-njy formulanyň sag böleginde duran H_i we B_i-niň näbelli ululyklaryny, hasaplanylýan B_i giňlik 0″,001 ýalňyşlykdan kiçiräk bolar ýaly takyklyk bilen bilmek talap edilýär. Bu bolsa ellipsoitden beýiklikde 10 metre çenli ýalňyşlyk goýberip bolýanlygyny aňladýar, *a* giňlikde bolsa (deňlemede) -birnäçe gradusa çenli ýalňyşlyk goýberip bolar.

(9)-njy formulanyň 1-nji deňlemesinden tapýarys,

$$H_i=\left|\sqrt{X_i^2+Y_i^2}\right|\sec B_i-N_i=\left|\sqrt{X_i^2+Y_i^2}\right|\sec B_i-a_r\left(1-e_r^2\sin^2 B_i\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (37)$$

onda-da B_i argumentini ($B=45^0$ bolanda) *0″*, takyklyga çenli bilmelidir. Eger-de SSR-iň territoriýasy bilen çäklenip bolsa, ol ýerde hem $H<2$ km-e deň bolsa, onda (35)-nji deňlemäni $\frac{H_i}{N_i}$ -leri saklaýan agzasyz ulanmak mümkin, ýagny:

$$\sec^2 B_i \approx \frac{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2 (1 + e_r^{/2})^2}{X_i^2 + Y_i^2} \tag{38}$$

$$\sin^2 B_i \approx \frac{Z_i^2 (1 + e_r^{/2})^2}{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2 (1 + e_r^{/2})^2} \tag{39}$$

(37)-(39)-njy formulalary hasaba alyp ($H<2$ km-e bolanda) (36)-njy deňlemede $\frac{H_i}{a_r} e_r^4$ we $\left(\frac{H_i}{a_r} \right)^2$ agzalaryny hasaba almazdan we q doldurmasyny şu aşakdaky görnüşe getirmek bolar:

$$q = -\frac{e_r^2 p_i}{a_r} + e_r^2 \left[1 - e_r^2 \frac{z_i^2 (1 + e_r^{/2})}{\rho_i^2} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{40}$$

bu ýerde $\rho_i^2 = X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2 (1 - e_r^{/2})^2$.

$\frac{H_i}{a_r}$ gatnaşygyny (29) deňlemeden gelip çykýan deňlemeden takyk almak mümkin,

$$\begin{aligned} X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2 &= (H_i + N_i)^2 \cos^2 B_i + \left[N_i (1 - e_r^2) + H_i \right]^2 \sin B_i = \\ &= (H_i + N_i)^2 - 2H_i (H_i + N_i) e_r^2 \sin B_i + N_i^2 e_r^4 \sin^2 B_i \end{aligned} \tag{41}$$

(41)-nji deňlemeden şu aşakdakyny taparys:

$$\begin{aligned} H_i + N_i &= N_i e_r^2 \sin B_i + \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2 - N_i e_r^4 \sin^2 B_i \cos^2 B_i} = \\ &= N_i^2 e_r^4 \sin^2 B_i + \Delta_i^2 \sqrt{1 - \frac{N_i^2}{\Delta_i^{r^2}} e_r^4 \sin^2 B_i \cos^2 B_i} \end{aligned}$$

bu ýerde $\Delta_i^r = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2}$ we ýene-de N_i –ni çalşandan soňra we 10^{-6} takyklyga çenli takyklykda hatarlarda goýup, şu aşakdakyny alýarys:

$$\frac{H_i}{a_r} = \frac{\Delta_i^r - a_r}{a_r} + \frac{1}{2} e_r^2 \sin^2 B_i + \frac{1}{8} e_r^4 \sin^4 B - \frac{1}{2} \frac{a_r}{\Delta_i^2} e_r^4 \sin^2 B \cos^2 B_i \qquad (42)$$

Eger-de giňligiň funksiýasy üçin, (38), (39)-njy deňlemeleri ýakynlaşdyryp ulansak, onda (42)-nji deňlemäni şu aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$\frac{H_i}{a_r} = \frac{\Delta_i^r - a_r}{a_r} + \frac{r_i^2}{\rho_i^2}\left[\frac{1}{2} e_r^2 \left(1 + e_r^{/2}\right)^2 + \frac{1}{8} e_r^4 \left(\frac{r_i^2}{\rho_i^2} - \frac{4a_r\left(X_i^2 + Y_i^2\right)}{\rho_i^3}\right)\right] \qquad (43)$$

Bu formulany ýene-de ýönekeýleşdirip we san hasabatlary üçin oňaýlaşdyrmak mümkin.

Tejribelikde ýene-de ýönekeý usul yzygiderli ýakynlaşdyrma usulyny ulanmak amatly bolýar we ilki bilen şu aşakdaky formula boýunça B_0-yň bahasyna hasaplamalydyr:

$$tgB_{0i} = \frac{r_i (1 + e_r^{/2})}{\left|\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}\right|} \qquad (44)$$

q ululygyny ulanmazdan, we ondan soňra ahyrky bahasy üçin:

$$B_i = B_{0i} + \delta B_{0i} \qquad (45)$$

doldurmasyny tapmaly:

$$\frac{\delta B_{0i}}{\rho^{//}} = -e_r^2 \cos^2 B_{0i} \frac{\rho_i N_{0i}}{a_r} \frac{Z_i}{\left|\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}\right|} \approx -\frac{e_r^2}{a_r} \sin B_{0i} \cos B_0 (\rho_i - N_{0i}) \qquad (46)$$

Şol ýagdaýda N_{oi}-niň bahasy B_{oi} argumenti boýunça geodeziki tablisalaryndan saýlanyp alynýar.

Krassowskiniň ellipsoidiň üçin $\delta B^{0//}$ doldurmasy şu aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$B_{0i} = -0^{//},2165(\rho_i - N_{0i})\sin B_{0i} \cos B_{0i}$$

Heýfordyň ellipsoidi üçin

$$\Delta B^{//}_{oi} = -0^{//},2174\ (P_i - N_{oi})\sin B_{oi} \cos B_{oi}$$

Bu ýerde $(P_i - N_{oi})$ kilometrde görkezilýär.

B_i we L_i, ululyklaryny alyp, H_i beýikligini şu aşakdaky formulalar boýunça hasaplamak amatly:

$$\left\{\begin{array}{l} H_i = X_i \sec B_i \sec L_i - N_i \\ H_i = Y_i \sec B_i \operatorname{cosec} L_i - N_i \\ H_i = Z_i \operatorname{cosec} B_i - N_i(1 - e_r^2) \end{array}\right. \qquad (47)$$

Ýatladyp geçýäs, belli bolan $H_{q,i}$ kadaly beýiklikde E_r ellipsoidiň üstünden kwozigeoidiň $\varphi_{q,i}$ beýikligini almak mümkin:

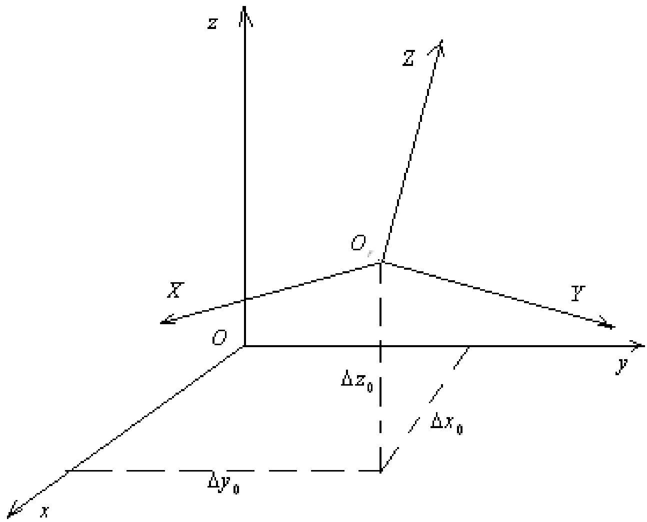
$$\varphi_{q,i} = H_i H_{q,i} \qquad (48)$$

Koordinat ulgamlaryny çalyşdyrmak.

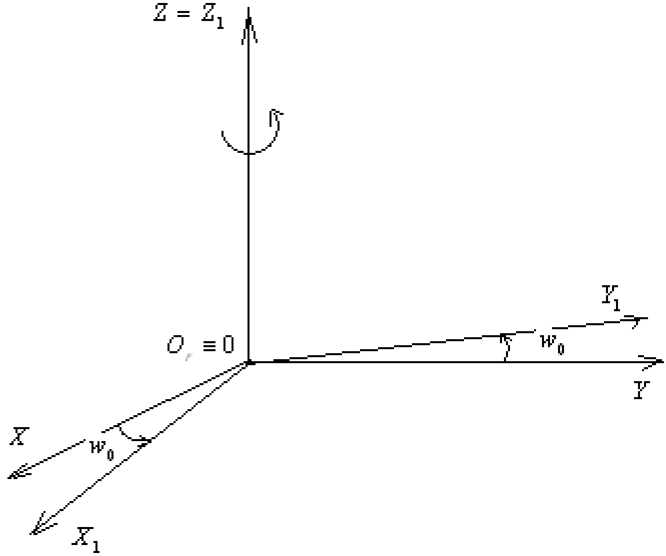
1. Göniburçly giňişlik ulgamlary.
2. Eýleriň burçlary.
3. Skalýar önümler.

Goý, referens – ellipsoidiň merkeziniň koordinatalary geomerkezi sistemada Δx_0, Δy_0 we Δz_0 bolsun, we şu aşakdaky gatnaşyklary özünde jemlesin.

$$\begin{cases} x = \Delta x_0 + X\cos(X,x) + Y\cos(Y,x) + Z\cos(Z,x) \\ y = \Delta y_0 + X\cos(X,y) + Y\cos(Y,y) + Z\cos(Z,y) \\ z = \Delta z_0 + X\cos(X,z) + Y\cos(Y,z) + Z\cos(Z,z) \end{cases} \tag{49}$$



1-nji surat.
Göniburçly giňişlik sistemalary.



2-nji surat. *W* presessiniň burçy.

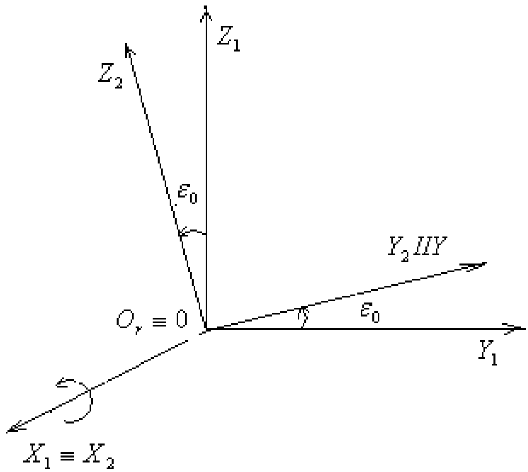
Başlangyç *X, Y, Z* we geçirilen iki sistemalar hem ortogonal bolsa, onda ortogonallygyň belli bolan alty sany şertlerini görkezilen dokuz ugrukdyryjy kosinuslarynyň kömegi bilen ýazmak bolar:

$$\begin{cases} \cos^2(X,x)+\cos^2(Y,y)+\cos^2(Z,z)=1 \\ \cos^2(X,y)+\cos^2(Y,y)+\cos^2(Z,y)=1 \\ \cos^2(X,z)+\cos^2(Y,z)+\cos^2(Z,z)=1 \end{cases} \qquad (50)$$

$$
\begin{cases}
\cos(X,x)\cos(X,y)+\cos(Y,x)\cos(Y,y)+\cos(Z,x)\cos(Z,y)=0 \\
\cos(X,x)\cos(X,z)+\cos(Y,x)\cos(Y,z)+\cos(Z,x)\cos(Z,z)=0 \\
\cos(X,y)\cos(X,z)+\cos(Y,y)\cos(Y,z)+\cos(Z,y)\cos(Z,z)=0
\end{cases}
\qquad (51)
$$

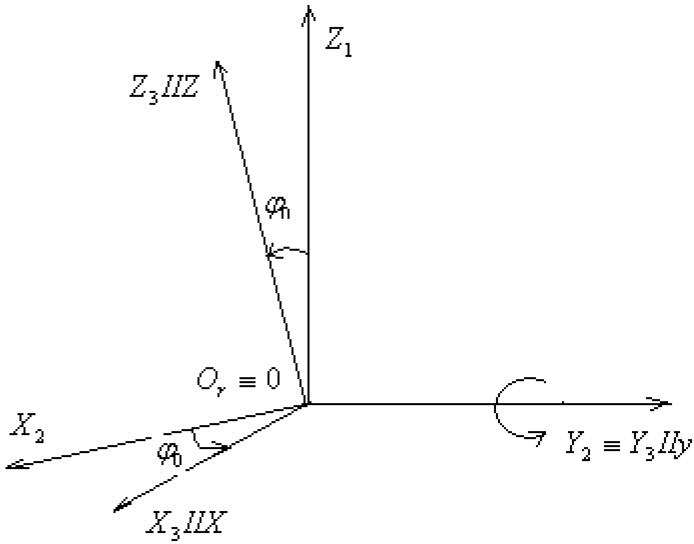
(50) we (51)-nji deňlemeleriň nagt netijesinde (49)-njy formulada dokuz burçdan diňe üçüsem garaşsyz bolup durýar, şonuň üçin galan alty sany burçlary belli bolan üçüsiniň üsti bilen görkezip bolar. Şol maksat üçin, hemmesinden köp eýleriň burçlary diýlip atlandyrylýan burçlar gabat gelýär. Ol burçlary ω_0, E_0, Ψ_0 diýip belleýäris we şeýle kesgitleýäris:

a) $+\omega_0$ – sagat strelkasynyň garşysyna z okunyň daşyndaky X,Y,Z başlangyç sistemalarynyň aýlanma burçy. (Eger-de Z okunyň položitel tarapynyň ahyryndan seretseň) (presessiniň burçy). Şol aýlanmadan soňra $X_1,Y_1,$ Z_1 sistemalaryny alýarys (2-nji surat).



3-nji surat. Nutasiýanyň E_0 burçy.

b) + $E_0 - X_1$ okunyň daşyndaky X_1, Y_1, Z_1 sistemasynyň aýlanma burçy (položitel tarapy edil + W_0 –ňky ýaly kesgitlenilýär. (nutasiýa burçy). Şeýle aýlanmadan soňra X_2, Y_2, Z_2 sistemasyny alýarys. (3-nji surat).



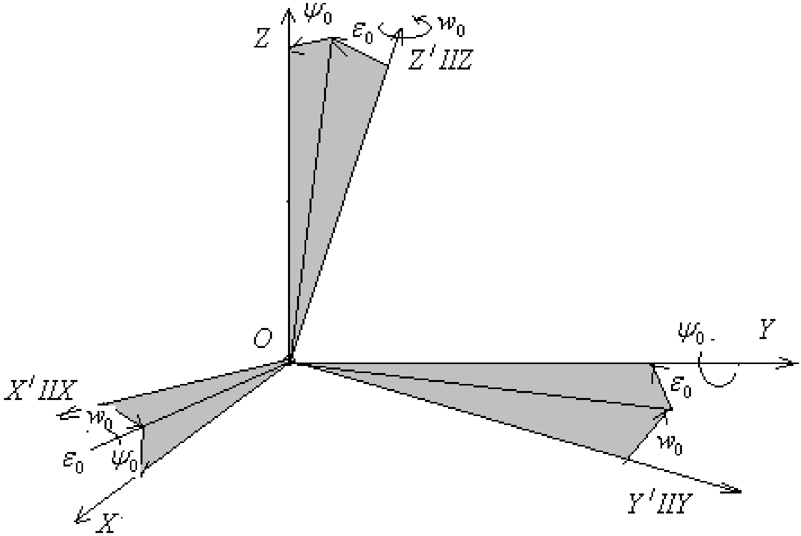
4-nji surat.

ç) $+\Psi_0 - Y_2$ okunyň daşyndaky X_2, Y_2, Z_2 sistemasynyň aýlanma burçy (arassa aýlanma burçy). Şol aýlanmadan soňra $X_3//x$, $Y_3 // y$, $Z_3 // z$ sistemasyny alýarys (4-nji surat). Matematiki goýulmalaryň gysgalmagy üçin aýratyn aýlanma sistemalaryny aýlanmanyň ortogonal afinili tenzorlary bilen häsiýetlendirmek mümkin, olary bolsa, W_0, E_0, Ψ_0 burçlaryna ulanmak bolýar, olary bolsa Ω, E, Ψ bilen belleýäris. Olary matrisa formasynda şu aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$\Omega = \begin{Bmatrix} \cos w_0 & \sin w_0 & 0 \\ -\sin w_0 & \cos w_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \qquad (52)$$

$$\Omega = \left\{ \begin{matrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & \cos\varepsilon_0 & \sin\varepsilon_0 \\ 0 & -\sin\varepsilon_0 & \cos\varepsilon_0 \end{matrix} \right\} \qquad (53)$$

$$\Omega = \left\{ \begin{matrix} \cos\psi_0 & 0 & \sin\psi_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\psi_0 & 0 & \cos\psi_0 \end{matrix} \right\} \qquad (54)$$



5-nji surat.

Umumy öwrülmäni (5-nji surat) $\Psi E\Omega$ skalýar önümleriniň kömegi bilen görkezmek bolar:

$$\psi E\Omega = \left\{ \begin{matrix} \cos\psi_0 & 0 & -\sin\psi_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\psi_0 & 0 & \cos\psi_0 \end{matrix} \right\} \text{x}$$

$$\text{x} \left\{ \begin{matrix} \cos w_0 & \sin w_0 & 0 \\ -\sin w \cos\varepsilon_0 & \cos w_0 \cos\varepsilon_0 & \sin\varepsilon_0 \\ \sin w_0 \sin\varepsilon_0 & -\cos w_0 \sin\varepsilon_0 & \cos\varepsilon_0 \end{matrix} \right\} =$$

$$\left\{ \begin{matrix} \cos w_0 \cos\psi_0 \quad -\sin w_0 \sin\varepsilon_0 & \sin\psi_0 \sin w_0 \cos\psi_0 + \cos w_0 \sin\varepsilon_0 \sin\psi_0 - \cos\varepsilon_0 \sin\psi_0 \\ -\sin w \cos\varepsilon_0 & \cos w_0 \cos\varepsilon_0 \qquad \sin\varepsilon_0 \\ \cos w_0 \sin\psi_0 + \sin w_0 \sin\varepsilon_0 & \sin\psi_0 \sin w_0 \sin\psi_0 - \cos w_0 \sin\varepsilon_0 \cos\psi_0 \quad \cos\varepsilon_0 \cos\psi_0 \end{matrix} \right\}$$

(55)

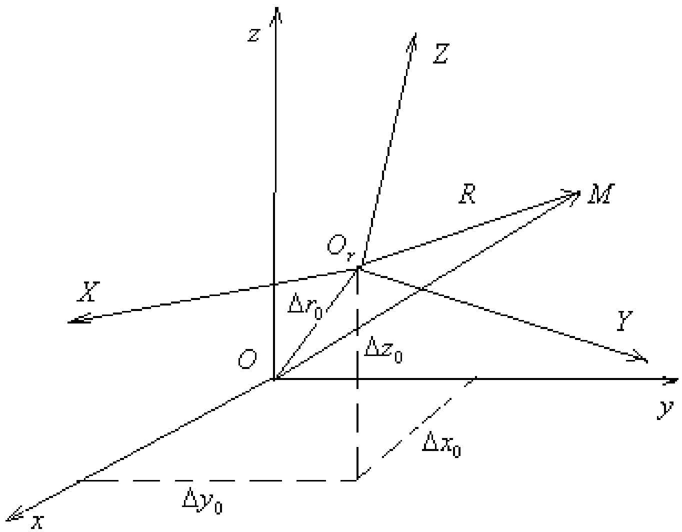
Soňky tenzor (50) we (51)-nji şertleri kanagatlandyrmalydyr, ýagny:

$$\begin{cases} \cos w_0 \cos\psi_0 - \sin w_0 \sin\varepsilon_0 + \sin\psi_0 \sin w_0 \cos\psi_0 + \\ + \cos w_0 \sin\varepsilon_0 \sin\psi_0 - \cos\varepsilon_0 \sin\psi_0 = 1 \\ -\sin w \cos\varepsilon_0 + + \cos w_0 \sin\varepsilon_0 \sin\psi + \\ \cos w_0 \cos\varepsilon_0 + \sin w_0 \sin\varepsilon_0 - \sin\varepsilon_0 = 0 \\ \cos w_0 \sin\psi_0 + \sin w_0 \sin\varepsilon_0 - \sin\psi_0 \sin w_0 \sin\psi_0 - \\ -\cos w_0 \sin\varepsilon_0 \cos\psi_0 \quad \cos\varepsilon_0 \cos\psi_0 = 0 \end{cases} \qquad (56)$$

Häzirki zaman referens sistemalarynda w_0, E_0, we Ψ_0 ululyklarynyň örän azdygyny göz öňünde tutup, we birnäçe dugaly sekuntlardan ýokary bolmaýar, (52)-(54)-nji deňlemelerde *1 sm*-den ýokary bolmadyk ýalňyşlyk bilen, olaryň inedördüllügini we önümlerini hasap etmän, ahyrky matrisany şu aşakdaky ýaly ýönekeýleşdirmek mümkin:

$$\psi E\Omega = \begin{Bmatrix} 1 & w_0 & \psi_0 \\ -w_0 & 1 & \varepsilon_0 \\ \psi_0 & -\varepsilon_0 & 1 \end{Bmatrix} \quad (57)$$

Eger-de bellesek: *r-x, y, z* koordinatalar sistemasyndaky *M* erkin nokadynyň radius-wektory: *R-x, y, z* sistemasyndaky şol *M* erkin nokadynyň radius-wektory: Δr_0-00_r wektory bolsa, onda *X,Y,Z* sistemasyndaky koordinatalary *x, y, z* sistemasyna öwürmeklik şu aşakdaky deňleme (wektory) bilen kesgitlenilýär (6-njy surat).



(6-njy surat).

(58)-nji deňlemä deň derejeli bolan skalýar deňlemeler, (49)-njy deňlemä taý bolar:

$$\begin{cases} X = \Delta x_0 + X + w_0 Y + \psi_0 Z \\ Y = \Delta y_0 + Y + w_0 X + \varepsilon_0 Z \\ Z = \Delta z_0 + Z + \psi_0 X + \varepsilon_0 Y \end{cases} \quad (59)$$

x, y, z sistemasyndan *X,Y,Z* sistemasyna geçişi häsiýetlendirýän ters gatnaşyk şu aşakdaky ýaly bolar:

$$R = (\psi E \Omega)^{-1} r - \Delta r_0 \, (60)$$

we şeýlelik bilen onuň skalýar düzüjileri şu aşakdaky görnüşe eýe bolarlar:

$$\begin{cases} X = x - \Delta x_0 - w_0 y + \psi_0 z \\ Y = y - \Delta y_0 + w_0 x + \varepsilon_0 z \\ Z = z - \Delta z_0 - \psi_0 x + \varepsilon_0 y \end{cases} \quad (61)$$

ÝEH-nyň hereketleriniň (uçuşynyň) iki görnüşi.

Orbitada ÝEH-nyň hereketleri Ýeriň dartyş meýdanynyň, beýleki jisimleri dartmak, atmosferanyň garşylygy, ýagtylyk basyşy we beýleki güýçleriň täsiri astynda bolup geçýär. Ýeriň dartyş güýjüni emele getirýän ÝEH-nyň tizlenmesi Ýeriň *V* güýç funksiýasynyň üsti bilen şu aşakdaky görnüşde kesgitlenilip bilner:

$$g = -\frac{1}{r}V \qquad (1)$$

Bu ýerde *r*-Ýeriň merkezi massasyndan ÝEH-na çenli aralyk. Ýeriň fiziki jisimini düzýän material nokatlarynyň dartyş jemleri bilen kesgitlenilýän Ýeriň güýçli funksiýasy şu aşakdaka deňdir:

$$V = f\iiint_T \frac{dm}{r} \qquad (2)$$

bu ýerde dm-Ýeriň jisimindäki elementar göwrümiň massasy; r-şol göwrümiň merkezinden daşky nokada çenli aralyk:

f = 6,670 (1+0,0007x10^{-11} *m*^{3} *kg*$^{-1}$ *sek*$^{-2}$-bütindünýä dartyş güýjüniň hemişelik bahasy: integrirlemäni Ýeriň ähli jisimleri boýunça geçirmek zerurdyr, onuň üçin bolsa, Ýeriň içki dykyzlygynyň üýtgeýiş kanunyny bilmek zerurdyr. Sebäbi bu kanun belli däl, şonuň üçin geodeziýada we älem mehanikasynda başga ýol bilen gidýärler-(2)-nji güýçli funksiýa üçin deňlemäni sferiki funksiýalar boýunça bir hatara goýýarlar, ony bolsa şu aşakdaky ýaly edip görkezip bolar:

$$V = \frac{\mu}{r} + \frac{\mu}{r}\left(\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=0}^{m} C_{mn}\cos nl + S_{mn}\sin nl\right)\left(\frac{r_0}{r}\right)^m P_{mn}(\sin\psi) \qquad (3)$$

bu ýerde *M=f M* - grawitasiýa parametri: *M*-Ýeriň agramy (massa): *Ψ, l* – ÝEH-nyň giňligi we uzaklygy: r^0 – ýer geoidiniň ortaça radiusy: P_{mn} – Ležandranyň polinomy: C_{mn},S_{mn} – hemişelik ululyklar. C_{mn} we S_{mn} koeffisientleri Ýeriň içki gurluşyna we formasyna bagly bolup durýar we grawimetriki hem-de ÝEH-nyň gözegçiliginiň netijeleri boýunça kesgitlenilýär. Beýleki planetalaryň dartyşy bilen emele gelýän ÝEH-nyň tizlenmesini şu aşakdaky görnüşde görkezmek bolar.

$$\bar{g}_n = \sum_{i=1}^{k} \mu_i \left[\frac{r_i - r}{|r_i - r|^3} - \frac{1}{r_i^2} \right] \qquad (4)$$

bu ýerde M_i, r_i – i-nji planetanyň wektor ýagdaýy we grawitasion parametri. ÝEH-nyň atmosfera bilen tormozlanýan güýjüne islendik garşylyk güýji diýlip atlandyrylýar. Bu güýç bilen emele gelýän tizlenme şu aşakdaka deňdir:

$$W = -\frac{1}{2} C_x \frac{A}{m} \rho(H) v v \qquad (5)$$

bu ýerde C_x-a erodinamiki garşylygyň koeffisienti:

A-ÝЭH-nyň kesip geçýän meýdany: υ-Ýere baglylykda ÝEH-nyň tizligi: *ρ(H)-H* beýikliginiň funksiýasy ýaly atmosferanyň dykyzlygy.

Ýagtylyk basyşynyň täsiri astynda synalýan ÝEH-nyň tizlenmesi şu aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär.

$$g_{ya.b} = k \frac{A}{m} \frac{r_0 - r}{|r_0 - r|^3} \qquad (6)$$

bu ýerde *K*-obýektiň üstüniň serpikdiriji düzümini we Günüň şöhlelenme ukybyny häsiýetlendirýän koeffisiýent. Ahyrynda sanalan güýçleriň täsiriniň astynda ÝEH-nyň hereketiniň deňlemesi şu aşakdaky görnüşde ýazylyp bilner:

$$\ddot{r} = \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{\mu}{r^3} r + \nabla v + \sum_{i=1}^{k} \mu_i \left[\frac{r_i - r}{|r_i - r|^3} - \frac{r_i}{r_i^3} \right] - \frac{1}{2} C_x \frac{A}{m} \rho(H) v v + K \frac{A}{m} \frac{r_i - r}{|r_0 - r|}$$

(7)

bu ýerde *ΔV*-Laýyk gelýän koordinatalary boýunça Ýeriň gyşarma güýçli funksiýasynyň hususy önümine deň bolan düzüji wektor, ýa-da

$$\ddot{r} = -\frac{\mu}{r^3} r + g_b \qquad (8)$$

bu ýerde $(M/r^3)r$ – maddy nokat ýaly seredilýän, Ýeriň dartylmasy esasynda emele gelýän esasy tizlenme:

g_b – beýleki güýçleriň esasynda emele gelen gyşarma tizlenmesi. ÝEH-nyň traktoriýasy şu deňlemäni integrirlemek bilen kesgitlenilýär.

ÝEH-nyň hereketiniň meselelerini çözmek örän çylşyrymly we birinji ýakynlaşma hökmünde Ýeriň agramyna deň bolan agramly maddy nokatlaryň täsiri astynda ÝEH-nyň hereketine seredýärler. Şeýle hereketler merkezi güýjüň meýdanynda bolup geçýär we ol gyşarmadyk ýa-da Kepleriňki (Kepleriň kanunyna boýun egýän) diýlip atlandyrylýar. Beýleki täsirleriň we potensialyň goýma agzalarynyň hasaby ÝEH-nyň hereketine gyşarma berýär.

ÝEH hereketiniň differensial deňlemeleri. Kepleriň kanuny

Merkezi güýjüň meýdany birmeňzeş we sferiki jisimleriň döredýän dartyş meýdany ýaly kesgitlenilýär.

Kepleriň kanunlary:

1. Planetalaryň orbitalary ellipsiň manysydyr, fakuslaryň haýsy hem bolsa birisinde Gün ýerleşýär.
2. Her planetanyň radius-wektory deň meýdany we wagtyň deň aralygyny suratlandyrýar.
3. Iki jisimiň aýlanma möwsüminiň inedördülleriniň gatnaşygy, olaryň planetalarynyň uly ýarym oklarynyň göwrümleriniň gatnaşygyna deňdir.

hereketiň proýeksiýasy özünde elliptiki, paraboliki we giperboliki orbitalary jemleýär. Ondan başga-da, merkezi güýjüň meýdanynda ýene iki ýagdaý bolup biler: radial hereket ((radius boýunça gönükdirilen) (diklik boýunça galdyrylan ýa-da erkin gaçyş) we töwerekleýin hereket. Goý, merkezi jisim koordinatalaryň başlangyjynda ýerleşýän bolsun we *M* agramy bolsun. ÝEH-synyň gutarnyksyz kiçi agramy bar we onuň ýagdaýy *r* wektor bilen berilýär. onda ÝEH-na täsir edýän güýç şu aşakdaky ýaly bolup biler:

$$F = \ddot{r} = -\frac{\mu}{r^3} r \qquad (9)$$

Ikinji tertipli differensial deňlemeleriň üç sistemasynyň umumy çözgüdi (9) alty sany esassyz hemişelige bagly bolup durýar. Bu sistemalary integrirlemäge girişýäris.

(9)-njy deňlemäni *2r*-e skalýarly köpeldip:

$$\dot{r}\ddot{r} = -\frac{\mu}{r^3} 2r\dot{r} \qquad (10)$$

sebäbi

$$\frac{d}{dt}(\dot{r}^2) = -\frac{\mu}{r^3}\frac{d}{dt}(r^2) \qquad (11)$$

onda (10)-njy deňlemäni şu aşakdaky ýaly edip ýazyp bolar:

Ýa-da

$$\frac{d}{dt}(v^2) = -\frac{\mu}{r^3}\frac{d}{dt}(r^2) \qquad (12)$$

sebäbi

$$\dot{r}^{2} = v^2; \quad r^2 = z^2$$

bu ýerde *w*-ÝEH-nyň tizliginiň moduly.
Indi,

$$\frac{d}{dt}(v^2) = -\frac{2\mu}{r^3}\frac{dr}{dt} = 2\mu\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{r}\right)$$

Bu deňlemäni integrirläp, şu aşakdakyny alarys:

$$v^2 = \frac{2\mu}{r}h \qquad (13)$$

(13)-nji deňleme energiýanyň integraly diýlip atlandyrylýar, h hemişeligi diýlip atlandyrylýar.

Bu deňlemäniň çep bölegi ÝEH-nyň W tizliginiň inedördülidir. Energiýanyň h hemişeliginiň ähmiýetine baglylykda ÝEH-nyň hereketi her-hili orbitalar boýunça bolup geçýär:

Eger-de

$h = - M/r$ – tegelek boýunça,
$h < 0$ – ellipc boýunça,
$h = 0$ – parabola boýunça,
$h > 0$ – giperbola boýunça.

Hakykatdan hem, (12)-nji deňlemeden şu aşakdakyny alýarys:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{\mu m}{r} + \frac{hm}{2}$$

Şu ýokarky deňlemeden görnüşi ýaly $h<0$ bolanda, ÝEH-nyň kinetiki energiýasy *r* nokadynda grawitasion meýdanyň potensial energiýasyndan azdyr we ÝEH-ry ýapyk orbita boýunça hereket edýär. Eger-de $h \geq 0$ bolanda sputnigiň kinetiki energiýasy meýdanyň patensial energiýasyndan köp ýa-da oňa deňdir we sputnik tükeniksizlige gidýär (açyk orbita boýunça). Meýdanyň integraly diýlip atlandyrylýan integraly alýarys. Goý, sputnik (ÝEH) koniki kesim (göni bolmadyk) boýunça hereket etsin. Şonda onuň ýagdaýynyň r wektor önümi V tizligine şu aşakdaky görnüşde görkezilýär:

$$rxv = rx\frac{dr}{dt} \neq 0$$

we

$$\frac{d}{dt}(rxv) = \frac{dr}{dt}x\frac{dr}{dt} + rx\frac{d^2r}{dt^2} = vxv + rx\frac{d^2r}{dt^2}$$

(14)

(9)-njy deňlemäni wektorly r-e köpeldip, şu aşakdakyny alýarys:

$$rx\frac{d^2r}{dt^2} = -\mu\frac{1}{r^3}(rxr) = 0$$

Sebäbi r x $r = 0$ v x $v = 0$ hasaba alyp, (14)-nji deňlemeden şu aşakdakyny alýarys:

$$\frac{d}{dt}(rxr) = 0$$

We integrirländen soňra:

$$r \text{ x } v = c,$$

bu ýerde c-meýdanyň konstantasy diýlip atlandyrylýan hemişelik wektor.

(15)-nji deňlemäniň özüni meýdanyň integraly diýlip atlandyrýarlar, ol kloordinatalar formasynda şu aşakdaky şekilde ýazylyp bilner:

$$\begin{cases} y\dot{z} - z\dot{y} = c_1 \\ z\dot{x} - x\dot{z} = c_2 \\ x\dot{y} - y\dot{x} = c_1 \end{cases} \qquad (16)$$

c_1, c_2, c_3 ululyklary meýdanyň hemişeligi diýlip atlandyrylýar. (16)-njy deňlemeden zerur gatnaşygy almak ýeňil.

$$c_1x + c_2y + c_3z = xyz\text{-}xzy + zyx\text{-}xyz + xzy\text{-}yzx = 0 \qquad (17)$$

c_1, c_2, c_3 hemişelikler kinetiki pursatyň wektoryny emele getirýär we tekizligi kesgitleýär, onuň deňlemesi şu aşakdakydan ybarat:

$$c_1x + c_2y + c_3z = 0 \qquad (18)$$

bu tekizlik koordinatalaryň başlangyjynyň üstünden (M nokadyny dartyjy) geçýär we ol orbitanyň tekizligi bolup durýar. Indiki üç integrallar Laplasyň integrallary diýlip atlandyrylýar.

(9)-njy deňleme bilen (15)-nji deňlemäni köpeltýäris:

$$cx\ddot{r} = -\frac{\mu}{r^3}(rxr)xr = -\frac{\mu}{r^3}rx(rxv)$$

we, belli bolan wektorly toždestwony ulanyp

$$ax(bxc) = b \cdot (a \cdot c) - c \cdot (a \cdot b)$$

şu aşakdakyny alarys.

$$cx\ddot{r}=-\frac{\mu}{r^3}\left[r\cdot(r\cdot v)-v\cdot(r\cdot r)\right]=-\frac{\mu}{r^3}\left[v\cdot r^2-r\cdot vr\right]=-\frac{\mu}{r^2}\frac{vr-rv}{r^2}=-\mu\frac{\dot{r}r-r\dot{r}}{r^2}$$

we

$$\frac{d}{dt}(cx\dot{r})=-\mu\frac{d}{dt}\left(\frac{\dot{r}}{r}\right) \tag{19}$$

Integrirläp, şu aşakdakyny tapýarys:

$$cxv+\mu\frac{\dot{r}}{r}=-f \tag{20}$$

bu ýerde *f*-Laplasyň wektory diýip atlandyrylýan käbir hemişelik wektor. (20)-nji deňlemäni Laplasyň deňlemesi diýip hem atlandyrýarlar.

C wektory *f* wektoryna ortogonaldygyny anyklamak kyn däl, ýagny,

$$c_1 f_1 + c_2 f_2 + c_3 f_{30} = 0 \tag{21}$$

C wektory orbitanyň tekizligine ortogonaldyr, *f* wektory bolsa şol tekizlikde ýatyr we orbitanyň fokal okuny kesgitleýär. (20)-nji deňlemäni *r*-e skalýarly köpeldip we alynan üç deňlemäni goşup, şu aşakdakyny alýarys:

$$f_1 x + f_2 y + f_3 z = -\mu r + c^2 \tag{22}$$

(18)-nji we (22)-nji deňlemeler dolylygyna orbitany kesgitleýärler.

ÝEH-nyň hereketine howanyň we ýagtylygyň basyşynyň täsiri

1. Tizlenmäniň gyşardyjy komponentleri.
2. ÝEH-nyň doly tizligini hasaplamak.
3. Atmosferanyň garşylygynyň täsiri.

Ýeriň emeli hemralarynyň hereketi atmosferanyň dykyzlygynyň örän az ýerlerinde bolup geçýär. Mysal üçin, 240 km beýiklikde atmosferanyň dykyzlygy deňiz derejesiniň üstündäki atmosferanyň dykyzlygyndan 10^{10} esse azdyr. Şeýle bolsa-da atmosferanyň saklaýan hereketi aýlowdan-aýlowa çenli ýygnanýar we belli ýagdaýda ÝEH-nyň orbitasyny çalyşýar. Tizlenmäniň gyşardyjy komponentlerini şu aşakdaky deňlemede görmek örän ýeňildir.

$$g_b^r = -\frac{1}{2} C_x \frac{A}{m} \rho v v_r \,, \quad g_b^s = -\frac{1}{2} C_x \frac{a}{m} \rho v v_n \qquad (1)$$

bu ýerde W_r – radial tizlik; W_n – transwersal tizlik. W_r we W_n ululyklaryny W-nyň hakyky hädogrulygyna we elementlerine baglylykda şu aşakdaky formula boýunça kesgitleýärler:

$$\begin{cases} v_r = \dot{r} = \dfrac{ce}{\rho}\sin v = \sqrt{\dfrac{\mu}{\rho}} e \sin v \\ v_n = r\dot{u} = \dfrac{c}{\rho}(1 + e\cos v) = \sqrt{\dfrac{\mu}{\rho}}(1 + e\cos v) \end{cases} \qquad (2)$$

Doly tizlik bolsa şu aşakdaky formulanyň kömegi bilen kesgitlenilýär:

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_n^2} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}\sqrt{1 + 2e\cos v + e^2}$$

Şeýlelikde şu aşakdakyny ýazmak bolar:

$$\frac{d\Omega}{du} = 0, \quad \frac{di}{du} = 0 \tag{3}$$

Şeýlelik bilen, atmosferanyň garşylygy ÝEH-nyň orbitasynyň tekizliginiň ýagdaýyny üýtgetmäge getirmeýär. Eger-de (59), (72), (45), (73)-nji formulalary hasaba alsak, onda şu aşakdakylary ýazyp bolar

$$\begin{cases} \dfrac{d\rho}{du} = -\dfrac{1}{2}C_x\dfrac{A}{m}\rho\dfrac{\rho^2\sqrt{1+2e\cos v + e^2}}{(1+e\cos v)^2} \\[2ex] \dfrac{de}{du} = -\dfrac{1}{2}C_x\dfrac{A}{m}\rho\dfrac{\rho^2\sqrt{1+2e\cos v + e^2}}{(1+e\cos v)^2} \\[2ex] \dfrac{dw}{du} = -\dfrac{1}{2}C_x\dfrac{A}{m}\rho\dfrac{\rho\sin v\sqrt{1+2e\cos v + e^2}}{2e(1+e\cos v)} \end{cases} \tag{4}$$

Atmosferanyň garşylygynyň täsiri astynda orbitanyň ewolýusiýasy şu aşakdaky ýagdaýda bolup geçýär: orbita giň tegelege öwrülýär, perigeýiň we apogeýiň beýikligi peselýär, apogeýiň beýikligi has-da çalt peselýär. ÝEH-sy atmosferanyň has dykyz gatlagyna çykýar we ahyrynda atmosferanyň dykyzlygynda ýanýar.

Ýeriň gysylmasynyň we atmosferanyň garşylygynyň täsirlerini bilelikde öwrenmeklik ÝEH-nyň hereket etmeleriniň takyk wagtyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

ÝEH-nyň efemeridiki hasaplamak.
ÝEH-nyň orbitasyny kesgitlemek.

1. x, y, z koordinatalaryny z we a-e öwürmek.
2. Ýakynlaşdyrylan kese koordinatalaryny almak.
3. ÝEH-nyň topomerkezli radius – wektoryny kesgitlemek.
4. Topomerkezi aralygy hasaplamak.

ÝEH-na gözegçilik etmek üçin efemeridleri düzmezden ozal, *x,y,z* koordinatalaryny *z* we a-lere öwürmek zerur bolup durýar. Efemerid üçin bolsa, ýakynlaşdyrylan çözgüt hem ýeterlikdir. ÝEH-nyň x^1,y^1,z^1 topomerkezi (ýakynlaşdyrylan) koordinatalaryny ÝEH-na gözegçilik etmek üçin şol ulgamlar (stansiýa) üçin, onuň *B, L,* we *H* geodeziki koordinatalary bilen görkezýäris:

$$\begin{cases} x' = x - (N+H)\cos B \cos l \\ y' = y - (N+H)\cos B \sin l \\ z' = z - \left[N(1-e_r^2 + H\right]\sin B \end{cases} \qquad (1)$$

bu ýerden (45)-nji formula laýyklykda ýakynlaşdyrylan kese koordinatalaryny alýarys:

$$\begin{cases} tg\alpha^1 \dfrac{x^1 \sin L - y^1 \cos L}{\left(x^1 \cos L + y^1 \sin L\right)\sin B - z^1 \cos B} \\ \cos z^1 \dfrac{(x^1 \cos L - y^1 \sin L)\cos B + z' \sin B}{\left|\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}\right|} \end{cases} \qquad (2)$$

Eger-de bize ýene-de ÝEH-nyň aşagyndaky nokatlaryň astronomiki koordinatalaryny tapmaly diýlip mesele goýulsa, onda goşmaça ÝEH-nyň geomerkezi ekwatorial koordinatalaryny hasaplamaklyk zerur bolup durýar:

$$tgT = -\frac{y}{x}, \qquad (3)$$

$$tg\delta = \frac{z}{\left|\sqrt{x^2 + y^2}\right|}; \qquad (4)$$

Takyk efemeridleriň zerurlygy haçan-da ÝEH-nyň ýagdaýlaryny gymyldaýan kameralar bilen ölçenende ýüze çykýar. Klassiki älem mehanikasynda garşydaşlyk aýratynlygy we şol bir wagtyň özünde özünde bu ýerde esasy aýratynlyk, ölçegleriň netijesinde ÝEH-nyň topomerkezi radius-wektoryny kesgitlemek mümkin, ýagny, diňe sputnige tarap ugry bolman eýsem, onuň topomerkezi aralygyny hem kesgitlemek mümkin. Şeýlelik bilen şeýle mümkinçilik diňe topomerkezi aralyklar göni usulynda ölçenende emele gelmän, eýsem, haçanda geodeziki stansiýalarda ÝEH-nyň diňe ugurlary sinhroply ölçenen ýagdaýlarynda hem emele gelip biler.

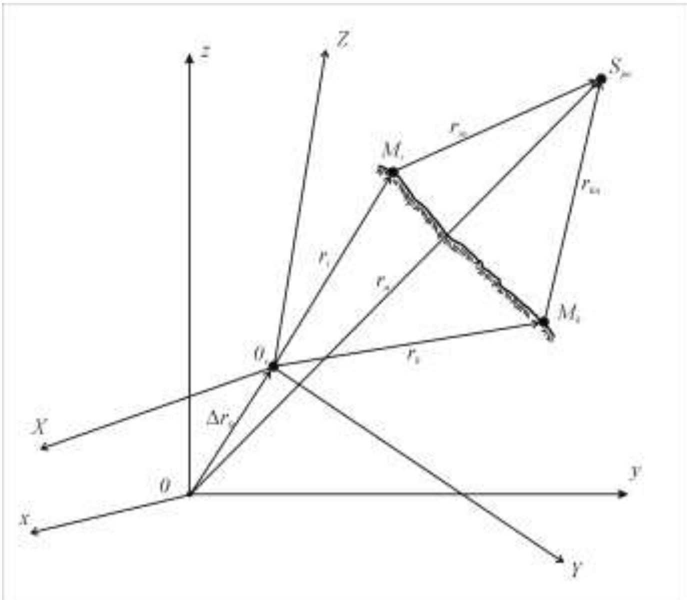
Şol ýagdaýda topomerkezi aralyk ÝEH-ny synlaýan iki sany stansiýa bilen ÝEH-y tarapyndan emele gelýän tekiz üçburçlukdan hasaplanylýar. Şol üçburçlykda seredilýän stansiýalary birikdirýän çyzygyň uzynlygy we ähli burçlary belli bolmaly.

Başga aýratynlygy we ýeňilligi bolup, bu ýerde az wagt aralygynda ÝEH-nyň birnäçe ýagdaýlaryny ölçemäge mümkinçilik bolýar, ýagny differensial gatnaşygyny hasaplamak mümkin formula ýazmaly $\frac{dT'}{dt}, \frac{d\delta'}{dt}, \frac{d\Delta'}{dt}$ şeýle hem, tizlik düzüjileri $\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}$

Ýerüsti nokatlaryň otnositel koordinatalaryny kesgitlemek

1. Ýer üstüniň M_i we M_k ulgamlary.
2. Ýönekeý gatnaşyklary düzmek.
3. Skalýar deňlemeleri düzmek.

Meseleleri çözmek üçin esas edip, ýeriň üstündäki M_k we M_i iki stansiýalar üçin ÝEH-nyň topomerkezi ýagdaýynyň arasyndaky gatnaşygy almak mümkin.



1-nji surat. Kosmiki geodeziýanyň esasy gatnaşyklary.

R_{in} we r_{kn} bilen ÝEH-ny synlamak üçin M_i we M_k stansiýalaryna laýyklykda S_{pn} sputnigiň topomerkezi radius-wektorlaryny belläris we referens-ellipsoitde kabul edilen O_r merkeziniň gatnaşygy boýunça stansiýalaryň radius-wektorlaryny bolsa r_i we r_k bilen belläris. Ondan soňra bolsa elementar gatnaşyklary alýarys:

$$r_i + r_{in} = r_k = r_{kn} \qquad (1)$$

Sebäbi $r_{in} = r'_{in}$ we $r_{kn} = r_{kn}$ deň bolsa, onda şu aşakdaky deňlemäni, ýagny $r = \Delta r_0 + \Psi E \Omega x R$ hasaba alyp (1)-nji deňlemäni aşakdaky görnüşe getirip bolar:

$$r = \Delta r_0 + \Psi E \Omega \cdot R \qquad (2)$$

Bu bolsa görkezilen esasy deňlemedir. Ol bolsa sputnigiň topomerkezi koordinatalary bilen geodeziki koordinatalary we stansiýanyň geodeziki beýikliginiň aralaryndaky baglanyşygy berýär. Bu baglanyşyk bolsa şu aşakdaky skalýar deňlemede oňat görünýär.

$$\left.\begin{array}{l}
\Delta'_{kn}\cos\delta'_{kn}\cos T'_{kn} - \Delta'_{in}\cos\delta'_{in}\cos T'_{in} + (N_k + H_k)\cos B_k \cos L_k - \\
(N_i + H_i)\cos B_i \cos L_i + \delta X_{ik}(E_0, \Psi_0, W_0) = 0 \\
-\Delta'\cos\delta'_{kn}\sin T'_{kn} + \Delta'_{in}\cos\delta'_{in}\sin T'_{in} + (N_k + H_k)\cos B_k \sin L_k - \\
-(N_i + H_i)\cos B_i \sin L_i + \delta Y_{ik}(E_0, \Psi_0, W_0) = 0 \\
\Delta'_{kn}\sin\delta'_{kn} - \Delta'_{in}\sin\delta'_{in} + [N_k(1 - e^2{}_r) + H_k]\sin B_k - \\
-[N_i(1 - e^2{}_r) + H_i]\sin B_i + \delta Z_{ik}(E_0, \Psi_0, W_0) = 0
\end{array}\right\} \qquad (3)$$

Doldurma üçin deňleme şu aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$\left.\begin{aligned}\delta X_{ik}(E_0,\Psi_0,W_0)&=\Delta x_{ik}-\Delta X_{ik}\\ \delta Y_{ik}(E_0,\Psi_0,W_0)&=\Delta y_{ik}-\Delta Y_{ik}\\ \delta Z_{ik}(E_0,\Psi_0,W_0)&=\Delta z_{ik}-\Delta Z_{ik}\end{aligned}\right\}\tag{4}$$

$r=\Delta r_0+\Psi E\Omega \mathrm{x} R$ deňlemäni hasaba alanda bolsa ýokarky deňleme şu aşakdaky görnüşe eýe bolar

$$\left.\begin{aligned}\delta X_{ik}(E_0,\Psi_0,W_0)&=w_0\Delta Y_{ik}+\Psi_0\Delta Z_{ik}\\ \delta Y_{ik}(E_0,\Psi_0,W_0)&=-w_0\Delta X_{ik}+E_0\Delta Z_{ik}\\ \delta Z_{ik}(E_0,\Psi_0,W_0)&=\Psi_0\Delta X_{ik}+E_0\Delta Z_{ik}\end{aligned}\right\}\tag{5}$$

(3)-nji deňleme ne stansiýanyň ýerleşiş ýagdaýyna, ne sputnigiň (ÝEH) ýerleşiş ýagdaýyna bagly bolup durýar.

GPS serişdesi barada umumy düşünje

"*GPS***"** –bu iňlis sözüniň ilkinji üç haplary, ýagny "*Global Positioning system*" sözleri bolup, "*Duran ýeriňi kesgitlemegiň global sistemasy*" diýen manyny aňladýar.

GPS serişdesi ýeriň daşyndan ýörite maksatly aýlanýan takmynan **28** sany, Ýeriň emeli hemralaryndan, ýerdäki duran nokatlaryňy kesgitlemek maksadynda, ýeriň üstündäki stansiýalar ulgamyndan we sany çaklendirilmedik mukdardaky kabul edijileri (priýomnikleri)-hasaplaýyş gurluşlaryndan ybarat-dyr. *GPS* serişdeleri ulanyjynyň, ýeriň üstündäki duran nokadynyň koordinat-laryny kesgitlemek maksadynda ulanylýar.

1-njy surat.

Nawigasiýa. *GPS* serişdesiniň radiosignallary arkaly ulanyjylaryň kabul edijisi (priýomnigi), duran nokadyň koordinatlaryny durnukly we takyk kesgitleýär. Kesgitlemegiň takyklygy onlarça metrden geçmeýär. Bu bolsa hereket edýän (uçarlaryň, wertalýotlaryň, kosmos raketalarynyň, awtomobilleriň, gämileriň we ş.m.) serişde-leriniň nowigasiýaly mysallaryny çözmek üçin ýeterlikdir.

2-nji surat.

Ýerdäki ölçegler. “*Duran ýeriňi kesgitlemek sistemasy*” diýen täze, *1990-njy ýyllarda* döräp başlan ilkinji düşünje “*nawigasiýaly sistema*” düşünjesi bilen deňeşdireniňde umumyrakdyr. Ol adamzat jemgyýetiniň has wajyp ýer ölçeg meselelerini we mysallaryny (geo-deziýada, kartografiýada, planimetriýada, geofizikada, has oňat senagat binalaryny we ýollary gurmakda we ş.m.) aň-satlyk bilen çözmäge mümkinçilik berýär (1-njy surat).

Şu maksatlarda, duran ýeriňi kesgitlemegiň ýalňyşlygy metriň ýüzden bir ülşüne, gerek bolan ýagdaýlarda, santimetriň ondan bir bölegi ýaly takyklykda ýokarlandyrmak arkaly netijeleri almak bolar. Netijeleri almak maksadynda ýörite kabul edijileri we alnan signallary işleýän gurluşlaryny ulanmak zerurdyr.

Eger-de uçurylýan raketalar we ýeriň emeli hemralary-bu sistemanyň mehaniki esasy we myş-salary bolsa, radiotehniki we hasaplaýyş mikro-elektron gurluşy-onuň beýnisi we nerw sistemalary bolup durýar. Olar bilelikdäki nazaryýet usullary bolup, sistemanyň informasiýa esasyny döredýär, Şeýle arabaglanşyk sistemasy bolmasa, ondaky seriş-deleriniň işlemegi mümkin bolmaýar.

Kabul edijiniň platasy ýokary duýgur trakty özünde saklaýar we kosmosdan alnan signallary çylşyrymly matematiki işlemek maksadyndaky gur-luşdyr. Şu gurluş ýokary derejeli kompýuteriň, ýokary tizlikli we uly huşly mikroelektronly shemalarynyň hem-de içki gurluşlarynyň, şonuň ýaly-da beýleki çylşyrymly elementleriň esasynda işleýär.

Platanyň özi, neşirli montažyň alty gatlagyny özünde saklap, şol bir wagtyň özünde 8 sany emeli hemralaryndan signallary kabul edip işlemäge ukyplydyr.

Şu ajaýyp ansamblyň esasyny, matema-tiki algoritmi dolandyrýar. Ol bolsa hasaplaýyş maşynyň hakyky maksatnamasy görnüşindedir. *GPS* serişdesi şol bir wagtda, häzirki zaman ýokary tehnologiýasynyň önümi we serişdesi bolup durýar.

Häzirki zaman ösen tehnologiýasy balyk tutmakda, gämileriň hereketlerini dolandyrmak-da zerur bolan täze gurallaryň döremegine getirdi. Bu gurala **eholot** diýilýär. Bu gural balykçа ýa-da gämide ýüzüjä özüni edil öýünde ýaly duýmagyna mümkinçilik berýär.

3-nji surat.

Ýagny bu guralyň ekranynda suwuň astynyň näçe metr çuňlugyny, balygyň nirede barlygyny we näçe metr çuňlukda ýatandygyny, ýüzüp barýan gäminiň öňündäki suwastynyň relýefi bilen baglanşykly pesgel-çilikleri(gaýalary, melleri we ş.m. gäminiň ýüzmegi üçin howply) elementleri görmäge we ondan sowulyp geçmäge, şonuň ýalyda ýüzmegiň iň ýakyn ýoluny görkezýär.2 -nji suratlar).

4-nji surat.

Eholotlary öndürýän esasy kompaniýalar **Garmin, Humminbird, Eagle, Lowrence** we ş.m. bolup durýar. Agzalan kompaniýalaryň, her biri özleriniň alyjylaryny almak bilen, öndürýän önümlerini olaryň islegleri boýunça ýasaýarlar (3-nji surat).

Eholotlar özleriniň goýberýän şöhleleri ýa-da lokalizasiýaly toplu-my, olaryň kömeginde, bolsa gural, suwuň aşagyndaky obýektiň ýerleşen ýerini kesgitleýär. Eholotyň ekra-nynda düýbiň profili we bar bolan balyklaryň möçberi suratlandyrylýar. Suwuň aşagyny bir, iki, üç ýa-da köp ölçegli tekizlikdäki şekillerde görmek bolar (4-nji surat).

5-njy surat.

Balyk tutmak we gämili ýüzmek üçin her bir adam eholot guralyny, özüçe goýlan meselä baglylykda saýlap alýar. Balygy ýa-da päsgelçiligi suwuň aşagyndan tapmak üçin eholotlaryň iň sada modelini ulanmak ýeterlikdir. Emma işi has çylşyrymlaşdyrsak, ýagny ýokary takykly ölçeg netijelerini ulanjak bolsak, onda eholoty öndürýän kompaniýasyny hem-de eholotyň ýasalyş takyklygyny hasaba almak zerurdyr.

Guralyň mümkinçiligi örän ýokarydyr. Onuň kömeginde ýeňillik bilen suw aşagynyň profilini gurmak bolar. Bu bolsa geodeziýa, geologiýa, geografiýa, geofi-zika we ş.m. işleri bilen meşgullanýan hünärmenleriň işlerini has-da ýeňilleşdirýär.

Bu guralyň hemraly nawigasiýa serişdesi **GPS** bilen bilelikde ulanylýan görnüşi has-da amatlydyr. Ol bolsa, diňe suwuň aşagynda ýerleşýän obýektleriň ölçeg-lerini kesgitlemän, onuň koordinatlaryny kesgitlemäge hem mümkinçilik berýär. Eholotyň daşky korpusy suw geçirmeýän ýasalyp, ony suwuň aşagynda ulanmaga mümkinçilik döredýär.

GPS serişdesiniň geodeziýa ulanylşy

Tebigy baýlyklar. Käbir ýagdaýlarda tebigy baýlyklary ýerlikli peýdalanmak maksadynda has takyk maglumatlar gerek bolýar. Maglumatlary almak maksadynda, ýeňil we arzan düşýän usullary ulanmak zerurdyr. Meselem, GPS serişdesiniň kömeginde ýeriň üstünde döredilen analitiki torda geçirilýän topografiki surata almagynyň esasynda oba hojalygynda ekerançylyk meýdanlary-nyň kartasyny düzmekde ulanylýar. Şonuň ýaly-da oba hojalyk serişdelerini tygşytly ulanmakda giňden peýdalanmak bolar. GPS serişdesiniň kömeginde döredilen surata almagynyň maglumatlary: gazma baýlyklary ulanmakda, geologiki gözlegleri geçirmek-de, geofiziki, gidrografiki surata almaklarynda, şeýle hem geologiki aňtow işlerini geçirmekde wajyp ähmiýete eýedir(5-njy surat).

6-njy surat.

Geodeziki daýanç torlary. GPS serişdesiniň kömeginde surata almak ýokarda agzalan artykmaçlykdan daşary, dürli derejeli takyklykdaky geodeziki daýanç torlaryny döretmegi, ajaýyp serişde hasaplanylýar. Bu gural özüniň ýokary onjeýliligi we takyklylygy bilen tapawutlanyp, dürli derejedäki daýanç torlaryny köpeltmek işlerini geçirmekde, şonuň ýaly-da işleri çalt we ýokary hilli geçirmäge mümkinçilik berýär. Işleri geçirmek ykdysady taýdan amatlydyr (6-njy surat).

7-nji surat.

Kadastrly surata almagy. GPS serişdesiniň, ara-çäkleri dikeltmekdäki ýerine ýetirýän işleri, her günki der dökülen, ýerine ýetirilmesi kyn göwrüdäki iş bolmak bilen, onuň kömegi bilen çaltlyk we ýokary hilli torlar geçirilýär. GPS serişdesi bilen surata almagynyň *statiki* we *knematiki* usullary bardyr. Olaryň kömeginde hususy eýeçiliginiň araçäklerini dikeltmek, şonuň ýaly-da olary daýanç torlaryna berkitmek, her bir uçastkanyň burç ýagdaýyny kesgitlemek we topografiki hem-de surata almagyň beýleki görnüşlerini geçirmekde wajyp bahalary alýar (7-nji surat).

8-nji surat.

Fotogrammetriýa. Häzirki wagtda kinematiki surata almagynyň yzygiderli geçirilmegi, süýşýän obýektleriniň traýek-toriýasyna gözegçilik etmäge mümkinçilik döretdi. Fotogrammetriýa ylymynyň puda-gynda, GPS serişdesiniň süýşýän kabul edijilerisi (priýomnik) bilen fotogrammet-riki hemranyň fokus merkeziniň arasynda belli bolan giňişlik arabaglanyşygy bardyr. Şonuň bilen birlikde süýşýän kabul edijiniň ýagdaýyny hasaplamak bilen, biz kamera-nyň ýagdaýyny giňişlikde kesgitleýäris. Eger-de, bize kameranyň ýagdaýy eksponirlemek wagtynda belli bolsa, onda biz fotogrammetriki surata almagyny ýerde ýagdaýy bellenilmedik nokatsyz geçirip bileris. Häzirki wagtda GPS serişdesiniň maglumatlary, döwrebap usullarda işlemek maksadynda, ýerdäki bellikleri ulanmazdan forogrammetriki kartalaşdyrmagyny ýerine ýetirmäge mümkinçilik döretdi (8-nji surat).

Geoinformasiýa sistemasy (GIS) we baýlyklary ulanmak. Ýeriň baha-synyň gymmatlanmagy we tebigy baýlyklara bolan islegiň artmagy bilen baglanyşykly, ýokary ynamly GPS serişdelerini dolandyrýan hünärmenlere ynam bildirilip başlanyldy. GIS we baýlyklary ulanmak ulgamlary ýazgyda saklamak we uly göwrümdäki geografiki berlenleri agtaryş mehanizmini üpjün edýär (9-njy surat).

9-nji surat.

Emma, ýerdäki alnan informasiýalar bilen bag-lanyşykly köp möçberdäki arabaglanyşykly, ýeke-täk bir bitewi koordinatlar sistemasyna birleşdirmeseň, olary ulanmakda belli bir kynçylyklar ýüze çykarýar we ulan-mak amatsyz, ýagny obýektleriň käbirleriniň bölekleri bir-biri bilen utgaşmaýar. Ähli obýektler, ýeriň üstünde hakyky ýagdaýyna degişli bolsa, onda olar geografiki obýektler adyny alýar. Maglumatlar berlende, ilki bilen obýektiň umumy geografiki esasyny geçirmek, ol bolsa öz gezeginde ýerleşen ýeriň baradaky informasyýasyna esaslanýar, şonuň ýaly-da ony dürli görnüşli informasi-ýalar bilen baglanyşdyrylýar(ýer üstüniň ulanylşy, tebigy baýlyklar barada, syýasy araçäkler we ş.m.). GPS serişdesi şular ýaly esaslary döretmekde takyk, arzan we täsirli bolmagy bilen surata almagyň beýleki usullaryndan tapawutlanýar.

Hemra ulgamly WM101, WM102 GPS geodeziki serişdeleri

__Hemra ulgamly geodeziki serişdäni perspektyiwaly tekizlikde oriýentir-lenmeginiň netijesinde *WM101* ýa-da *WM102* kabul ediji gurluşlaryň we *PoP* görnüşli geodeziki ölçegleri hasaplamak üçin kompýuter maksatnamalarynyň esasynda döredildi. Bu serişde *WM Satellite Surweying* kompaniýasynyň, ýaly

10-njy surat.

Laýka Heýerburg AG we *ABŞ Magnowoks* firmalarynyň bililikdäki önümidir. Şu serişde häzirki zamanyň oriýentirlenmek bilen baglanyşykly bolan global meselesini, maksimal amatlylyk bilen çözmekde artykmaç-lygy döredýär(10-njy surat).

Bu serişde ýeriň daşyndan ýörite geodeziki maksatly aýlanýan 28-e ýakyn emeli hemralaryndan goýberen signallary, ýeriň üstünde duran serişdeleriň kabul etmegi esasynda, özünde bar bolan magnitli göterijilerine ýazylýar we alnan maglumaty *EHM-lere* geçirýär. Türkmenistanyň ýeriniň çäginde, amatly şertlerde emeli hemralaryň ýedisi, iň bolmanda alty sanysy bilen gelýän signallary kabul edip, hasaplamany geçirmek bilen nokadyň koordinatlaryny kesgitlemek bolar.

Nawstar görnüşindäki ýeriň emeli hemralaryndan berlen maglumatlary kabul etmek we hasaba almak bilen birlikde, alnan maglumatlary häzirki zaman EHM-lerinde işlemegiň usullaryny almakdan durýar. Iki ýa-da ondan köp bolan ýeriň emeli hemralaryndan alnan maglumatlary boýunça, ýerdäki duran nokatlaryň gönüburçly koordinatlary *10 mm-2*$\cdot 10^{-6}$ (**WM101**) we *5 mm-1*$\cdot 10^{-6}$ (**WM102**) otnositel takyklykda, stansiýalaryň arasynda görünmek bolmasa-da, islendik howa şertlerinde, gije we gündiz maglumatlary almaga mümkinçilik berýär.

Toplumly(kompleksli) *WM101* kabul ediji gurluşynyň *16.8 kg* agramy bolup, ol nokatdan-nokada geçirmek üçin oňaýlydyr. Olar dört kanally kabul ediji(priýomnik) bolmak bilen, C/A kodda işleýär we *1 ýygylykly* yrgyldylara jebisleşdirilendir. Şonuň ýalyda, ulanyjylaryň isleglerine laýyklykda, işçi diapo-zony *2 ýygylykly* yrgyldylara hem goýup bolýar. *WM102* kabul ediji gurluşy *WM101-iň* kämilleşdirilen görnüşidir. Onuň standart mysalynda 1 we 2 ýygylykly yrgyldylara jebisleşdirilendir. Berlen maksatnamaly üpjünçiligi kompýuterlerde işlenilýär.

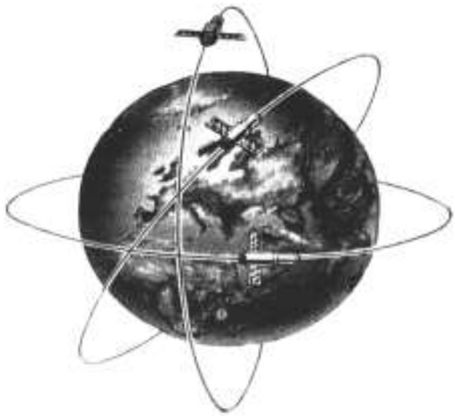
Bu serişdäniň harby hereketlerde, aňtowly maksatlar üçin, jübüde göterilýän has-da sada görnüşleri hem bardyr. Olaryň kömegi bilen berlen suduryň daşyn-dan aýlanmak bilen, şu ýeriň çägini sanly kartada görmek bolar.

Hemra çenli aralyk boýunça ýeriň üstünde duran ýeriňi kesgitlemek

GPS gurallarynyň segmentleri we elementleri häzirki zamanyň "*ýokary tehnologiýasyna*" esaslanan pikirlerinde ýasalandyr. Şonuň ýaly-da onuň esasyn-da goýulan pikirler örän sadadyr. Geliň indi şol pikirleriň iň wajyplarynyň bäşisine seredip geçeliň.

GPS serişdesiniň kömeginde, duran nokadyň koordinatlaryny kesgitlemek, hemralara çenli aralygy kesgitlemäge esaslanandyr. Bu bolsa, biziň koordinatlarymyzyň kosmosdaky ýeriň emeli hemralarynyň toparyna çenli aralyklary kesgitlemäge esaslanýandygyny görkezýär. Hemralar takyk koordi-nirlenen hasaplamagyň başlangyjynyň wezipesini ýerine ýetirýär.

Mysal hökmünde **A** ýeriň emeli hemrasy *11000* kilometrde ýerleşýär diýeliň, onda biz çaklanylýan gurşawyň radiusy *11000* kilometr bolup, onuň merkezi **A** ýeriň emeli hemrasy bilen gabat gelýär diýip hasaplaýarys.



•

11-njy surat.

Eger-de, şol bir wagtyň özünde **B** ýeriň emeli hemrasyna çenli aralyk *12000* kilometr diýsek, onda bu ýene-de biziň ýerleşen ýerimiziň giňişligini köpräk gysgaldar. Şonuň bilen birlikde, biziň ýeke-täk ýerleşen sebitimiz bolup, **A** hemradan *11000* kilometr we **B** hemradan *12000* kilometr aralyklarda, ol bolsa iki sany gurşawyň kesişen çyzygy, ýagny töwerekdir(.11-njy surat).

Eger-de biz aralygy ölçemek maksadynda, üçünji **Ç** hemra çenli aralygy ölçesek, onda duran ýerimizi kesgitlemegi azyndan iki sany nokatdan taparys. Bu iki nokat *13000* kilometr radiusly gurşawda töwerek bilen kesişýär, gurşawlaryň kesişmeginde *11000* kilometr we *12000* kilometr radiusly gurşaw-lar alynýar.

Adatça iki nokadyň birisi-bu dogry bolmadyk çözgütdir. *GPS* serişdeleriniň hasaplaýyş serişdeleri dürli görnüşli kabul edijiler bilen üpjün edilendir, olar iki sany mümkinçilikde duran ýeriň hakyky ýagdaýyny awtomatiki kesgitleýär.

Şonuň bilen birlikde, biz özümiziň beýikligimizi takyk bilýäris, meselem, deňizde ýüzüp ýören deňizçileriň ýagdaýy deňiz derejesindedir. Deňiziň derejesi beýikligiň başlangyç 0 beýikligi hasaplanylýar(kabul edilen referens-ellipsoide baglylykda). Bu ýagdaýda biz ýeriň emeli hemrasyndan ölçegleriň birini aradan aýyrmaly bolýarys.

Şonuň bilen birlikde:

- Ýerleşen ýeriň koordinatlary, hemralara çenli aralyklary ölçemek bilen hasaplanylýar.
- Duran ýeriň kesgitlemek üçin dört sany ölçeg geçirmek zerurdyr.
- Eger-de, dogry bolmadyk çözüwi aradan aýyrsak, üç ölçeg ýeterlikdir.
- Ýene-de bir ölçegi geçirmek tehniki sebäplere görä zerurdyr.

Hemra çenli aralygy ölçemek. Hemra çenli aralygy ölçemegiň esasy örän sadadyr, biz onuň bilen mekdep maksatnamalarynda fizika we mate-matika dersleri boýunça köp gezek duşupdyk. Aralyk-bu hereketiň tizliginiň onuň wagtyna köpeltmek hasylydyr diýen deňlemä esaslanýar. *GPS* serişdesi hemradan bize gelýän radiosignallaryň näçe wagtda gelýändigini ölçemäge ukyplydyr. Soňra, şu ölçenen wagt boýunça bolsa aralyk kesgitlenilýär.

Atmosferada radiotolkunlary ýagtylygyň tizligi bilen deň derejede ýaýraýar: sekuntda 300000 kilometr. Eger-de, biz hemranyň radiosignallary goýberen takyk wagtyny anyklap bilsek, ony kabul eden wagtymyz bilen deňeşdirip,

signalyň näçe wagtda gelendigini kesgitläp bileris. Onda, biz radiosignalyň hereketiniň tizligini onuň sekuntda geçen wagtyna köpeltmek bilen hemra çenli aralygy kesgitläris.

Bu ýagdaýda biziň sagadymyz has takyk bolmalydyr, ýagny ýagtylyk atmosferada örän çalt hereket edýär. Eger-de hemra edil biziň kellämiziň ýokarsynda ýerleşen bolsa, ondan goýberlen radiosignal *0.06* sekuntda gelip ýeter.

GPS serişdesinde wagty ölçemek has kämilleşdirilen usulda geçirilýär, ol ýygylygyň atom standartyna esaslanýar, ol bolsa hemranyň bortundaky sagadyň nanosekunt takyklyk bilen ölçenmegini goýýar. Bu bolsa 0.000000001 sekunda deňdir.

Radiosignalyň geçen wagtyny ölçemek esasy kynçylyk bolup durýar, bu bolsa hemradan signallaryň goýberlen wagty bilen ýerdäki kabul edijiniň başlangyç wagtlarynyň gabat gelmegidir. Onuň üçin GPS serişdäni döredijiler ajaýyp pikiri tapdylar: ýagny hemradaky we kabul edijilerdäki wagtlary sinhronizirlediler, bu bolsa şol bir wagtyň özünde, şol bir wagtdaky kody generirlemäge esaslanýar.

Soňra, bize diňe hemradan goýberlen radiosignalyň koduny kabul etmek we biziň kabul edijimiziň haçan generirländigini ýüze çykarmak galýar. Şonuň bilen birlikde, bir hemradan goýberlen kodunyň süýşmesi, kabul edijide signalyň anyk geçen wagty görkezilýär. Kadly signallary goýbermegiň artykmaçlygy, wagtly süýşmegi ölçemegi islendik wagt momentinde ulanylyp bilner.

Ýeriň emeli hemralary we kabul edijiler örän çylşyrymly sanly yzygiderlikleri generirleýär. Kodlar ýörite maksatly çylşyrymlaşdyrylýar, ýagny olary sada we birmeňzeş deňeşdirilmek we başga birnäçe sebäplere görä alynýar. Umuman alanda, kodlar örän çylşyrymly bolmak bilen, olar uzyn tötänleýin impulslaryň hatary görnüşinde seredilýär. Hakykatda bolsa olar, örän anyk saýlanyp alnan "*psewdotötänleýin yzygiderlikleri*" alýar we her bir millisekuntdan gaýtalanýar.

Şonuň bilen birlikde:

- Hemra çenli aralyk goýberlen radiosignalyň kabul edijä çenli geçen wagt aralygyny ölçemege esaslanýar.
- Hemra we kabul ediji, şol bir wagtyň özünde, şol bir psewdotötänleýin radiosignallary generirlemäge ukyplydyr, ol umumy wagt birliginde geçirilýär.
- Hemradan goýberlen radiosignalyň näçe wagt gijä galandygyny psewdo-tötänleýin koduň, kabul edijiniň koduna baglylykda aralyk kesgitlenýär.

Has kämilleşdirilen wagt baglanyşdyrylmagy

Eger-de hemra we kabul ediji sinhronlaşdyrylan ýagdaýdan *0.01 sekunt* gyşarsa, onda ölçegde goýberlen ýalňyşlyk *2993 metre* deň bolar. Şu ýagdaýda meseläniň bir tarapyny, ýagny sagady sinhronlaşdyrmagy örän ýönekeý üpjün etmek müm-kindir.

Hemralaryň bortunda atomly sagatlary oturdylandyr. Olar örän takyk we bahasy boýunça gymmatdyr, ýagny biriniň bahasy, takmynan ABŞ pulunda 100000 dollara barabardyr. Her bir geodeziki maksatly ýeriň emeli hem-ralarynda şu sagatlaryň dördüsi oturdylandyr. Beýle edilmeginiň esasy sebäbi, ynamlylyk bilen, wagty ölçemegi üpjün etmekdir.

Bir emeli hemra çenli aralygy ölçemek maksadynda üç sany ölçegi geçirmek bilen, nokadyň ýagdaýyny üç ölçegli giňişlikde kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Emma dört sany nätakyk ölçegi kabul edijiniň hasap bölegininiň degişlilikde süýşmegini aradan aýyrýar.

GPS serişdesi üç ölçegli ulgamdyr, onuň esasynda nokadyň tekizlikdäki ýagdaýynyň alnyşyna, ýagny iki ölçegde seredip geçeliň.

Bu ýagdaý şular ýaly düşündirilýär. Kabul edijiniň sagady atomly däl diýeliň, ol kämil sagat diýeliň. Onuň ýöreýşi kwars sagadyna degişli diýip alalyň, emma wagtyň ýeke-täk ulgamy bilen deňeşdirilmedik hasaplalyň. Ol takyk wagtdan bir sekunt yza galýar diýiliň. Geliň indi şu wagtyň duran ýerimizi kesgitlemäge edýän täsirine seredip geçeliň.

Eger-de, biz **A** hemradan dört sekunt, emma **B** hemradan bolsa alty sekunt aralykda ýerleşýäris diýip pikir etsek, onda şu iki ölçeg tekizligikde, biziň hakyky duran nokadymyzy baglanyşdyrmak üçin ýeterlikdir.

Eger-de biz bir sekunt yza galýan sagatly kabul edijini ulansak, onda ol **A** hemra çenli aralykdan bäş sekunt, emma **B** hemra çenli aralykdan bolsa ýedi sekunt diýip kesgitlärdi. Netije-de başga bir nokatda kesişýän täze iki sany töwerek emele geler. Geliň indi ýene-de ölçegi goşalyň. Iki ölçegli mysalda bu üçünji hemrany ulanmagy aňladýar.

Eger-de, biz has kämil sagady ulanýarys diýip pikir etsek, onda Ç hemra biziň ýerleşýän hakyky nokadymyzdan sekiz sekuntlyk aralykda, netije-de üç tekizlik bir nokatda kesişýär, ýagny olar üç hemranyň nokatdan hakyky daşlygyny görkezýär.

Eder-de, ähli üç ölçegde hem yza galan bir sekuntlaryny goşsak, onda täze alnan töwrekler hakyky aralyklar, “*psewdo aralyklar*” alynýar we bir nokatda kesişmeýärler. Netije-de käbir üçburçlyk alnyp, biziň agtarýan nokadymyz şol üçburçlugyň içinde niredir bir ýerinde ýerleşer.

Şonuň bilen birlikde, bir wagtyň özünde *5, 7* we *9* sekuntlyk aralyklarda, **A, B** we **Ç** nokatlara baglylykda ýerleşen nokat gurşawly üstde ýokdur. Bu hakykatdan hem mümkin däldir.

Kabul edijiniň kompýuteri, psewdo aralyklary ölçemekde, alnan ýalňyş signallary işlände käbir wagt aralygyny (şol bir bahany ähli ölçeglerde) aýyrmakdan (ýa-da goşmakdan) başlaýar. Kompýuter ähli ölçegleriň wagtynyň, töwrekleriniň bir nokatda “*kesişmegini*” gazanýança, wagty düzetmegi dowam etdirýär.

Ýokarda aýdylanlardan ugur alsak, onda üç ölçegli duran ýeriňi kesgitle-mekde (bir wagtyň özünde üç koordinataňy- geografiki giňligi, uzaklygy we şol bir ýer ellipsoidi üçin kabul edilen şertli üstünden beýikligi), hökmany dört sany ölçeg geçirmelidir. Bu bolsa kabul edijiniň sagadynyň ýeke-täk wagtly ulgama getirilmeginiň ýalňyşlygyny aradan aýyrmak maksadynda geçirilýär.

GPS serişdeleriniň dört ölçegli teswirlemeleri ulanylmagy, onuň takyklygyna has görnükli dereje-de täsir edýär. Eger-de wagtyň hakyky masştabynda duran ýeriňi yzygiderli kesgitlemek gerek bolsa, iň bolmanda dört sany kanally ölçegleri bolan kabul edijileri ulanmak zerurdyr. Bu bolsa, dört hemranyň mydamalyk, kabul etmeginiň we ilkinji signallary işlemeginiň aýratyn kanal-larynyň işlemeginde gazanylýar.

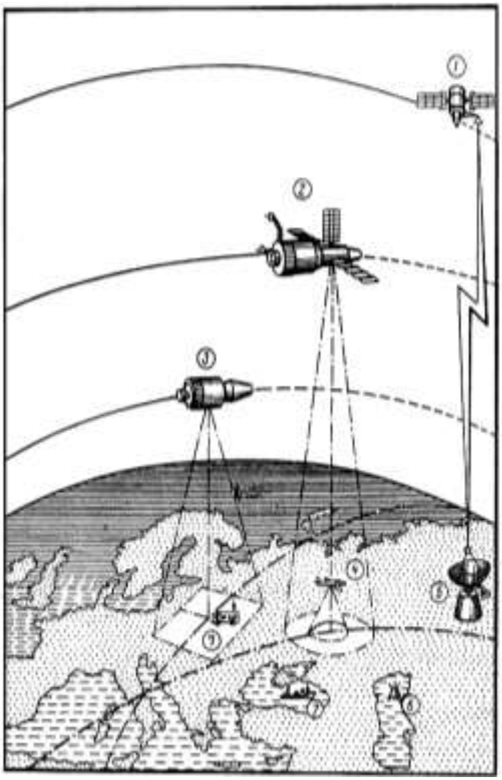
Şonuň bilen birlikde:

- Takyk wagtly baglanyşyk-hemra çenli aralygy ölçemegiň açarydyr.
- Hemralar wagt boýunça takykdyr, çünki olaryň bortunda atomly sagatlar ulanylýar.
- Kabul edijileriň sagatlary has kämil bolmasa-da bolar, wagt boýunça süşmegini trigonometriki hasaplamalary geçirmek bilen aradan aýyrmak mümkindir.
- Bu mümkinçiligi gazanmak üçin dördünji hemra çenli aralygy ölçemek zerurdyr.

- Dördünji ölçegi geçirmegiň zerurlygyny kabul edijiniň gurluşy kesgitleýär.

Kosmos giňişliginde hemranyň ýagdaýyny kesgitlemek

Şu wagta çenli pikirlerimizden ugur alsak, onda bir hemranyň kosmos giňişli-ginde nirede ýerleşýändigini bilýärdik, şundan ugur alsak, onda biziň duran nokadymyzy hemralaryň koordinatlary we olara çenli aralyk boýunça kesgitleýäris. Emma, kosmos giňişliginde ýokary tizlik bilen hereket edýän hemranyň nirededigini bilmek çylşyrymly



12-nji surat.

meseledir. Şonuň ýaly-da hemra bizden *18000* kilometr beýiklikde ýerleşýär.

18000 kilometr ýokardan uçýan ýeriň emeli hemrasy, adamzadyň ajaýyp oýlap tapyşlarynyň biridir. Şu beýiklikdäki ähli serişdeler bitewilikde ýeriň atmosferasyndan daşarda ýerleşýär. Bu bolsa hemranyň Ýeriň orbitasyndaky uçuşy, sada matematiki kanuny bilen esaslandyrylýar. Aýa meňzeşlikde, hereket edýän hemranyň aýlanmasy ynamlydyr. Aýyň ýeriň daşyndan aýlanmagy millionlarça ýyllaryň dowamyndaky hereketi hiç hili üýtgeşmelere sezewar bolmazdan geçýär. *GPS-iň* hemralary hem Ýeriň orbitasy boýunça edil şular ýaly hereketleri geçirýär. Hemralaryň hereket edýän traýektoriýasy öňünden bellidir, kabul edijileriň kompýuterinde her bir hemranyň islendik wagtda nirede ýerleşýändigini görkezýän "maglumat (almanah)" bardyr.

Ulgamy has-da kämilleşdirmek maksadynda, ýeriň üstünde *GPS* serişde-leriniň hemralarynyň ýagdaýyna gözegçilik etmek maksadynda, ýöriteleşdirilen agtaryş stansiýalary bardyr. *GPS* serişdesiniň hemralary Ýeriň daşyndan 12 sagadyň dowamynda bir gezek aýlanýar. Olar barlanýan stansiýanyň üstünden, günüň dowamynda iki gezek geçýär. Bu bolsa olaryň takyk beýikligini, ýagdaýyny we tizligini kesgitlemäge mümkinçilik döredýär (12-nji surat).

Stansiýadan hemranyň hereket ediş parametrlerini kesgitländen soňra, olar şu maglumatlary yzyna, hemralara geçirýärler we hemranyň kompýuterinde öňki bar bolan maglumatlary çalyşýar. Soňra, uly bolmadyk düzedişleri girizmek bilen, aralygy ölçeýji kodly signallary hemradan yzygiderli Ýeriň üstüne goýberýär.

GPS-iň hemralary diňe psewdotötänleýin aralygy ölçeýji kodlary Ýeriň üstüne goýbermek bilen çäklenmän, özüniň orbitasyndaky takyk ýagdaýyny we bortundaky ulgamlaryň ýagdaýy baradaky maglumatlary hem goýberýär. Şu maksatly ýeriň emelei hemralarynyň ähli, şular ýaly maglumatlary Ýeriň üstüne özüniň kosmos giňişligindäki takyk ýagdaýynyň kesgitlenmegi maksadynda goýberýär.

Şonuň bilen birlikde:

- Öz koordinatlaryny kesgitlemek üçin, bize hemra çenli aralygy, şonuň ýaly-da kosmos giňişliginde her bir hemranyň ýerleşen ýagdaýy gerekdir.
- *GPS-iň* hemralary örän ýokardan uçýarlar. Şonuň ýaly-da olaryň orbitasy durnuklydyr we olaryň ýerleşen ýerini ýokary takyklyk bilen çaklamak bolar.
- Deňeşdiriji stansiýa her bir hemranyň orbitadan sähelçe gyşarmasyny ölçeýär we olar baradaky maglumatlary, hemradan Ýeriň üstüne goýberýär.

Signallaryň inosferada we atmosferada saklanmagy.

Ulgam näçe kämil hem bolsa, ýalňyşlyklaryň iki hili görnüşi, onuň takyklygyna täsir edýär. Şu ýalňyşlyklardan has täsirlirägi radiosignallaryň Ýeriň ionosfera gatlagyndan-zarýadlanan bölekjikleriň gatlagyndan, ýagny *120-200* kilometre çenli beýiklikde döreýär.

Şu bölejikler ýagtylygyň ýaýramak tizliginiň üýtgemegine, şonuň ýaly-da *GPS-iň* radiosignallarynyň tizligine hem täsir edýär. Bu bolsa ýerde duran kabul edijiniň kömeginde, nokadyň koordinatlaryny kesgitlemekde uly ýalňyşlygyň döremegine täsir edýär. Biziň radiotolkunlaryň ýaýraýyş tizligi hemişelikdir diýen pikirimizi aradan aýyrýar.

Ýalňyşlygyň aralygy kesgitlemekdäki täsirini azaltmagynyň iki hili usuly bardyr.

Birinjiden, ortaça ionosferaly we adaty gününde radiotolkunlaryň tizliginiň üýtgeýşiniň nähili boljakdygyny aýdyp bileris. Soňra bolsa, biziň ähli ölçegle-rimize düzedişleri girizýäris. Emma, gynansakda ähli günler bir-birine meňzeş bolmaýar.

Başga bir usulda, iki ýygylykdaky yrgyldylary getirýän radiosignallarynyň tizliklerini derňemek bilen geçirilýär.

Şonuň bilen birlikde iki sany dürli ýygylykdaky *GPS* serişdesiniň signallary-nynyň geçen wagtlaryny deňeşdirmek bilen, olaryň nähili säginýändigini kesgitläp bileris. Düzetmegiň şu usuly çylşyrymly bolmak bilen, ol diňe iki ýygylykly has kämilleşdirilen *GPS* serişdeleriniň “*iki ýygylykly*” kabul edidiji-lerinde ulanylýar.

GPS-iň signallarynyň ionosferany kesip geçenden soňra, olar atmosfera gelip düşýärler we howa hadysalarynyň täsirinde bolýarlar. Atmosferadaky suw buglary hem radiosignalyň tiliginiň üýtgemegine görnükli täsir edýär. Ýalňyşlyklar radiosignalyň ionosferadan geçende emele gelýän görnüşine meňzeşdir, emma olara düzedişleri girizmeklik mümkin däl diýen ýalydyr. Biziň bagtymyza, olar radiosignallaryň geçişiniň jemi tizligine az täsir edýär. Olaryň mukdary, duran ýeriňi kesgitlemekdäki ýalňyşlygy adaty köçäniň ininden uly bolmaýar.

Edebiýatlar

1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşaýyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazeti, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. G.M.Berdimuhamedow „Türkmenistanda saglygy goraýşy özgertmegiň ylmy esaslary,“ Aşgabat-2007ý.
11. G.M.Berdimuhamedow „Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, halky söýmek bagtdyr,“ Aşgabat-2007ý.
12. Бойко Ю.В. Использование искусственных

спутников для построения геодезических сетей. М. Недра 2000.
13. Баранов В.Н, Бойко Е.Г, Краснорылов И.И. Космическая геодезия. Недра. 2007.
14. Н.Меллер. В ведение в спутниковую геодезии. М. Мир, 1997.
15. Н.Н.Красанорылов, Ю.В. Плахов. Основы космической геодезии. М.Недра. 2002.
16. Крылов В.И. Космическая геодезия. М. Мир.2008.

Mazmuny