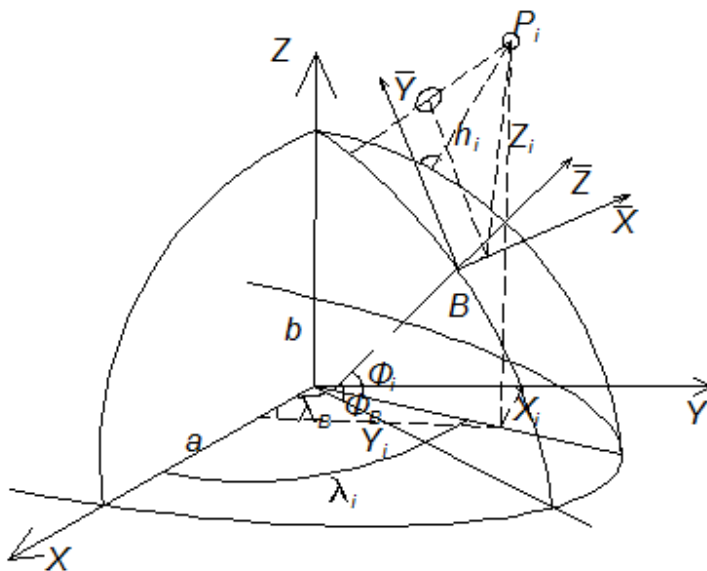


## Използване на сателитни позиционни системи за определяне координати на точки при аналитичните модели

Глобалните позиционни системи (GPS) могат се използват за определяне на пространствени координати на центровете на проектиране на етапа на формиране на изображението. Тази технология позволява да се създават по-точни пространствени модели и променя технологичният цикъл. При включване на измерените с GPS координати на проекционните центрове по време на формиране на изображението и включването им в аналитичните фотограметрични системи се налага въвеждане на корекции към отчитаните образни координати, произтичащи от особеностите на технологичния процес. Основни тенденции при използването на GPS на етапа на формиране на изображенията са:

- технологиите на GPS измерванията са в непрекъснато развитие;
- Контролните точки, олучени чрез GPS измерванията са алтернатива на класическите геодезически измервания;
- Използването на GPS измервания е свързано с новите перспективи на създаване на големи блокове от аналитични модели.

### Използвани координатни системи



(фиг. 67)

$XYZ$  - геоцентрична координатна система

$\bar{X}\bar{Y}\bar{Z}$  - топоцентрична координатна система

$P_i$  - текуща точка

$\Phi, l, h$  - географски координати

$B$  - топоцентър

$b$  - малка полуос на референтния елипсоид

$b = a - \alpha$  ,  $\alpha$  - сплеснатост на елипсоида

$$e^2 = 1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2 \quad (209)$$

$$e'^2 = \left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1 \quad (210)$$

$$\Phi_i = \operatorname{arctg}\left(\frac{Z_i \cdot a}{S_i \cdot b}\right) \quad (211)$$

$$\Phi_i' = \operatorname{arctg}\left(\frac{Z_i + e'^2 \cdot b \cdot \sin^3 \Phi_i}{S_i - e'^2 \cdot \cos^3 \Phi_i}\right) \quad (212)$$

$$\lambda_i = \arcsin\left(\frac{Y_i}{S_i}\right) \quad (213)$$

$$h_i = \frac{S_i}{\cos \Phi_i} - N_i \quad ; \quad N_i - \text{нормален радиус на кривина;} \quad (214)$$

$$N_i = \frac{a}{\sqrt{1 - e_2 \sin^2 \Phi_i}} \quad (215)$$

$$X_i = (N_i + h_i) \cos \Phi_i \cos \lambda_i$$

$$Y_i = (N_i + h_i) \cos \Phi_i \sin \lambda_i \quad (216)$$

$$Z_i = (N_i - (1 - e^2) + h_i) \sin \Phi_i$$

$\bar{X}\bar{Y}\bar{Z}$  - локална координатна система в топоцентъра

Връзката между тангенциалната и геоцентричната координатни системи се дава с изразите:

$$\begin{pmatrix} \bar{X}_i \\ \bar{Y}_i \\ \bar{Z}_i \end{pmatrix} = R^T \begin{pmatrix} X_i - X_B \\ Y_i - Y_B \\ Z_i - Z_B \end{pmatrix} \quad R - \text{ротационна матрица;} \quad (217)$$

$$R = \begin{pmatrix} -\sin \lambda_B & -\cos \lambda_B & 0 \\ \cos \lambda_B & -\sin \lambda_B & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \Phi_B & -\cos \Phi_B \\ 0 & \cos \Phi_B & \sin \Phi_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \lambda_B & -\cos \lambda_B \sin \Phi_B & \cos \lambda_B \cos \Phi_B \\ \cos \lambda_B & -\sin \lambda_B \sin \Phi_B & \sin \lambda_B \cos \Phi_B \\ 0 & \cos \Phi_B & \sin \Phi_B \end{pmatrix}$$

За районите на нашата страна използваните навигационни системи са GLONAS и NAVSTAR. Използва се световната координатна

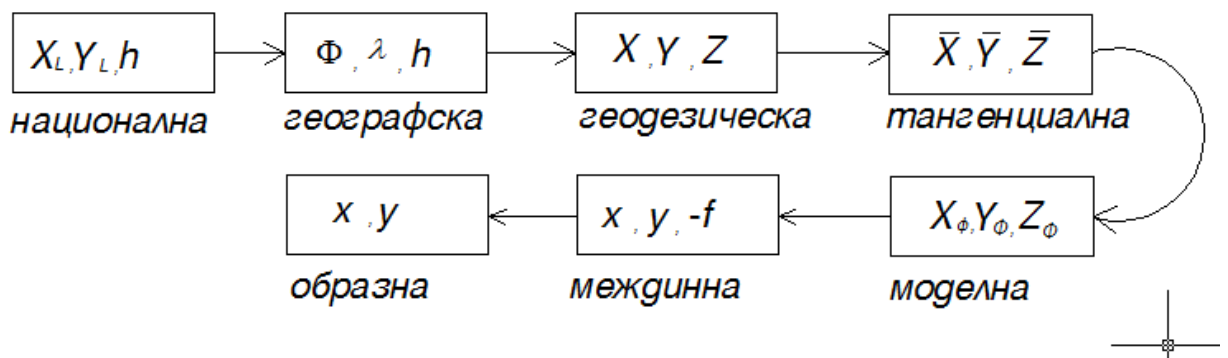
система 1984 (WGS 84). В системата NAVSTAR за определяне на орбитните елементи са използвани:

- 24 сателита с орбитен период 12 часа;
- орбитален радиус 26600 км;
- носещите сигнали на GPS системите са със средна носеща честота 10.23MHz;
- използват се двучестотни приемници с работни честоти: L1=1573.42 MHz и L2=1227.60 MHz;
- модулна честота  $c=10.23$  MHz;
- район със ширина на зоната 300км.

Точностите в честотите са показани в следната таблицата.

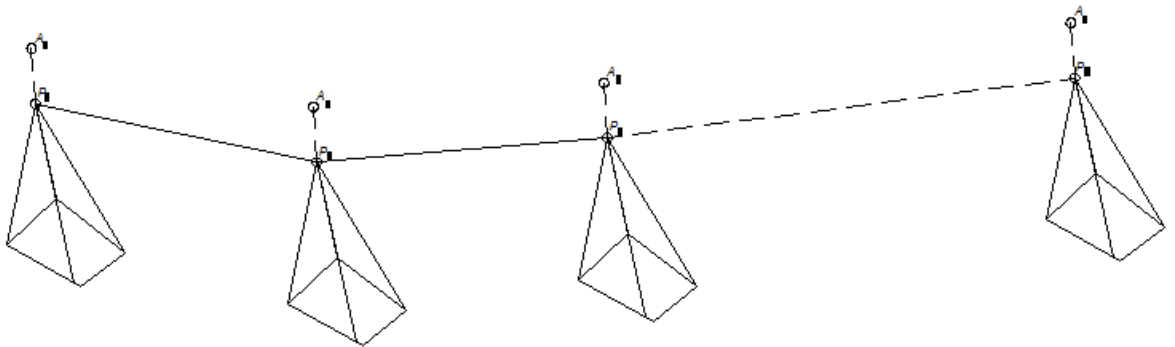
|     | Честота $f$<br>[MHz] | $\lambda = c/f$ [m] | $\lambda/100$ [mm] |
|-----|----------------------|---------------------|--------------------|
| 1   | L 1575.42            | 0.1925              | 1.9                |
| 2   | L 1227.60            | 0.2445              | 2.4                |
|     | c 10.23              | 29.31               | 2.9                |
| /10 | c 1.023              | 2.931               | 29                 |

Схема на извършваните трансформации е показана по-долу:



(фиг.68)

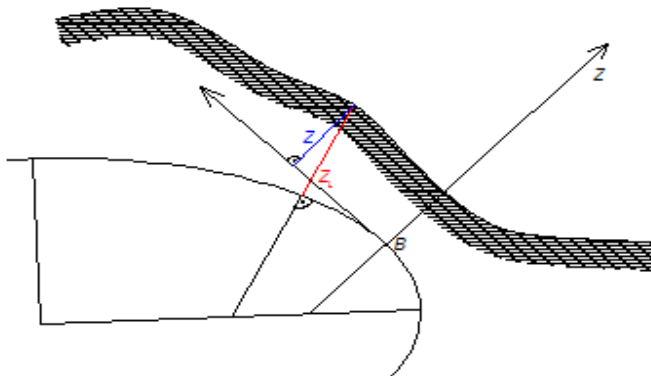
При регистриране на GPS координатите на проекционния център  $P_j$  се използва и сигнал от антена  $A_i$



(фиг. 69)

Антената се поставя на летателното средство и приема диференциалните поправки към момента на регистрацията на координатите на проекционния център.

### Корекция на националните координати



(фиг. 70)

В  $\bar{B}$ -надирна точка, център на тангенциалната координатна система

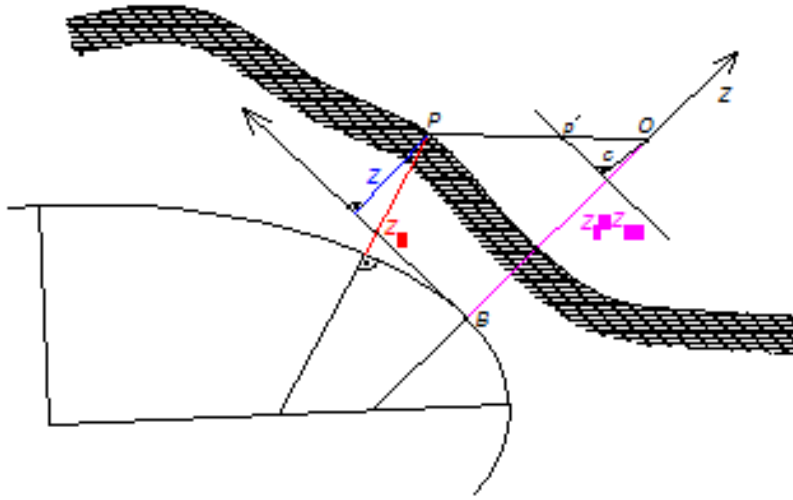
Топоцентричните (геодезически) координати се изчисляват от Гаус-Кругеровите референтни координати по формули:

$$\begin{aligned}
 X &= \left(1 + \frac{Z_L}{R}\right) \bar{Y}_L - \frac{1}{3R^2} \left(1 + \frac{Z_L}{R}\right) \bar{Y}_L^3 \\
 Y &= \left(1 + \frac{Z_L}{R}\right) \bar{X}_L - \frac{1}{6R^2} \left(1 + \frac{Z_L}{R}\right) \bar{X}_L^3 - \frac{1}{2R^2} \left(1 + \frac{Z_L}{R}\right) \bar{X}_L \bar{Y}_L^2 \\
 Z &= Z_L - \frac{1}{2R} \left(1 + \frac{Z_L}{R}\right) \left(\bar{X}_L^2 + \bar{Y}_L^2\right)
 \end{aligned}
 \tag{218}$$

$X, Y, Z$  - топоцентрични (геодезически) координати;

$\bar{X}_L, \bar{Y}_L$  - Гаус-Кругерови референтни координати в точка В

## Корекции към образните координати



(фиг. 71)

$$\Delta x = -c \frac{r_{11}X + r_{21}Y + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}X + r_{23}Y + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (219)$$

$$\Delta y = -c \frac{r_{12}X + r_{22}Y + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}X + r_{23}Y + r_{33}(Z - Z_0)}$$

Ако с  $\Delta x$  и  $\Delta y$  означим поправките към измерените образни координати  $x', y'$  то можем да напишем:

$$x = x' + \Delta x \text{ и } y = y' + \Delta y$$

За малки обекти може да се запише:

$$\begin{aligned} x' + \Delta x &= -c \frac{r_{11}X \left(1 - \frac{Z}{R}\right) + r_{21}Y \left(1 - \frac{Z}{R}\right) + r_{31}(Z - Z_0) \left(1 + \frac{X^2 + Y^2}{2R(Z - Z_0)}\right)}{r_{13}X \left(1 - \frac{Z}{R}\right) + r_{23}Y \left(1 - \frac{Z}{R}\right) + r_{33}(Z - Z_0) \left(1 + \frac{X^2 + Y^2}{2R(Z - Z_0)}\right)} \\ y' + \Delta y &= -c \frac{r_{12}X \left(1 - \frac{Z}{R}\right) + r_{22}Y \left(1 - \frac{Z}{R}\right) + r_{32}(Z - Z_0) \left(1 + \frac{X^2 + Y^2}{2R(Z - Z_0)}\right)}{r_{13}X \left(1 - \frac{Z}{R}\right) + r_{23}Y \left(1 - \frac{Z}{R}\right) + r_{33}(Z - Z_0) \left(1 + \frac{X^2 + Y^2}{2R(Z - Z_0)}\right)} \end{aligned} \quad (220)$$

С известно приближение могат да се направят следните опростявания:

$$x' + \Delta x = -c \frac{X \left(1 - \frac{Z}{R}\right)}{(Z - Z_0) \left(1 - \frac{X^2 + Y^2}{2R(Z - Z_0)}\right)} = -c \frac{X}{Z - Z_0} \left(1 - \frac{X^2 + Y^2}{2R(Z - Z_0)} - \frac{Z}{R}\right)$$

$$y' + \Delta y = -c \frac{Y \left(1 - \frac{Z}{R}\right)}{(Z - Z_0) \left(1 - \frac{X^2 + Y^2}{2R(Z - Z_0)}\right)} = -c \frac{Y}{Z - Z_0} \left(1 - \frac{X^2 + Y^2}{2R(Z - Z_0)} - \frac{Z}{R}\right) \quad (221)$$

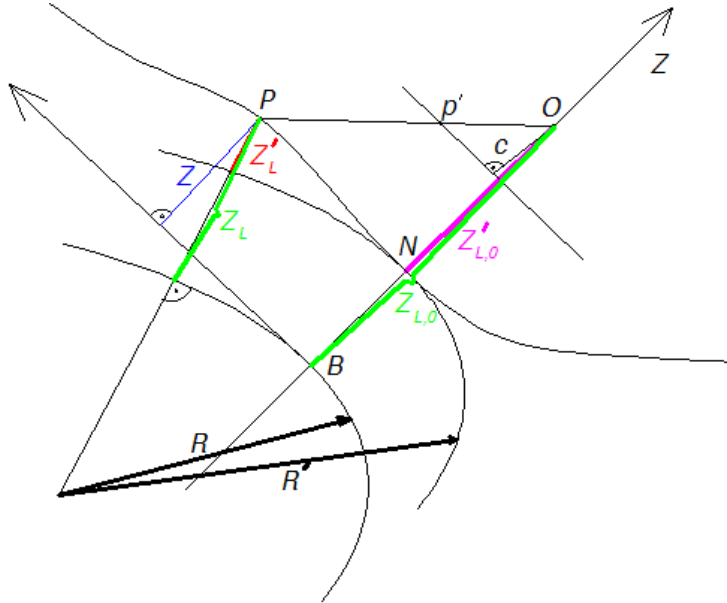
За вертикални снимки се използват формулите:

$$x = -c \frac{X}{Z - Z_0} \quad y = -c \frac{Y}{Z - Z_0}$$

$$\Delta x = \frac{X}{2R} \left( \frac{X^2 + Y^2}{Z - Z_0} - 2Z \right) = \frac{X}{2R'} \left( \frac{R^2 (Z'_{L,0} - Z'_L)}{c^2} - 2Z'_L \right)$$

$$\Delta y = \frac{Y}{2R} \left( \frac{X^2 + Y^2}{Z - Z_0} - 2Z \right) = \frac{Y}{2R'} \left( \frac{R^2 (Z'_{L,0} - Z'_L)}{c^2} - 2Z'_L \right) \quad (222)$$

Тук  $(X^2 + Y^2)/(Z - Z_0)^2 = \frac{R^2}{c^2}$



(Фиг. 72)

$$\Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \frac{r}{2R'} \left( \frac{r^2 (Z'_{L,0} - Z'_L)}{c^2} - 2Z'_L \right) \quad (223)$$

При  $Z'_L = 0$  се получава  $\Delta r = \frac{r^3 Z'_{L,0}}{2R' c^2}$  (224)

Порядъкът на тези грешки е показани в таблицата по-долу.

Таблица 11

| За<br>машаби | $Z'_{L,0}$ , [km] | Фок.<br>разст.<br>$c$ , [mm] | $Z'_L =$<br>[km] | $Z'_L = -0$<br>[km] | $Z'_L = 1$<br>[km] |
|--------------|-------------------|------------------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| 1:5000       | 1.5               | 300                          | 3                | 14                  | 25                 |
|              | 0.8               | 150                          | 5                | 20                  | 34                 |
|              | 0.4               | 85                           | 10               | 32                  | 54                 |
| 1:1000<br>0  | 3                 | 300                          | 6                | 17                  | 18                 |
|              | 1.5               | 150                          | 11               | 25                  | 40                 |
|              | 0.8               | 85                           | 19               | 41                  | 63                 |
| 1:3000<br>0  | 9.0               | 300                          | 17               | 28                  | 40                 |
|              | 5.5               | 150                          | 34               | 48                  | 62                 |
|              | 2.6               | 85                           | 62               | 84                  | 106                |
| 1:1000<br>00 | 8.5               | 85                           | 202              | 225                 | 247                |
| 1:8000<br>00 | 240               | 300                          | 460              | 471                 | 482                |