Лекция 3

Коррекция дальномерных погрешностей СРНС

Факторы, определяющие псевдодальность

$$P_i^k = \rho_i^k + I_i^k + T_i^k + mP_i^k + c \cdot dt_{rec}^k - c \cdot dt_{SV}^k (t - \tau_i^k) + \\ + c \cdot d_{rec}(t) + c \cdot dt^k (t - \tau_i^k) + E_i^k + \varepsilon^k$$

Геометрическая дальность:

$$\rho_i^k(t) = \sqrt{\left(x_i^k - x_{rec}^k\right)^2 + \left(y_i^k - y_{rec}^k\right)^2 + \left(z_i^k - z_{rec}^k\right)^2} = c \cdot \tau_i^k$$

Локально-зависимые дальномерные погрешности:

$$\upsilon = \frac{c}{n}$$

$$I_i^k = \int_{rec}^{SV} n_{ion} ds - \int_{rec}^{SV} dl$$

Ионосферная дальномерная погрешность

$$T_i^k = \int_{rec}^{SV} n_T ds - \int_{rec}^{SV} dl$$

Тропосферная дальномерная погрешность

$$\sigma(mP_i^k) \approx 0.13 + 0.53 \cdot \left(-\frac{\varphi}{10}\right)$$

Погрешность многолучевого распространения (погрешность многолучевости)

Факторы, определяющие псевдодальность

$$P_i^k = \rho_i^k + I_i^k + T_i^k + mP_i^k + c \cdot dt_{rec}^k - c \cdot dt_{SV}^k (t - \tau_i^k) + \\ + c \cdot d_{rec}(t) + c \cdot dt^k (t - \tau_i^k) + E_i^k + \varepsilon^k$$

Глобально зависимые дальномерные погрешности:

$$c \cdot dt_{SV}^k (t - \tau_i^k) = a_0 + a_1 (t - T_{oe}) + a_1 (t - T_{oe})^2 + \Delta t_r^k$$

Отклонение БШВ от системного времени СРНС

$c \cdot dt^k (t - \tau_i^k)$ **Задержка сигнала в аппаратуре спутника (генерация и излучение сигнала)**

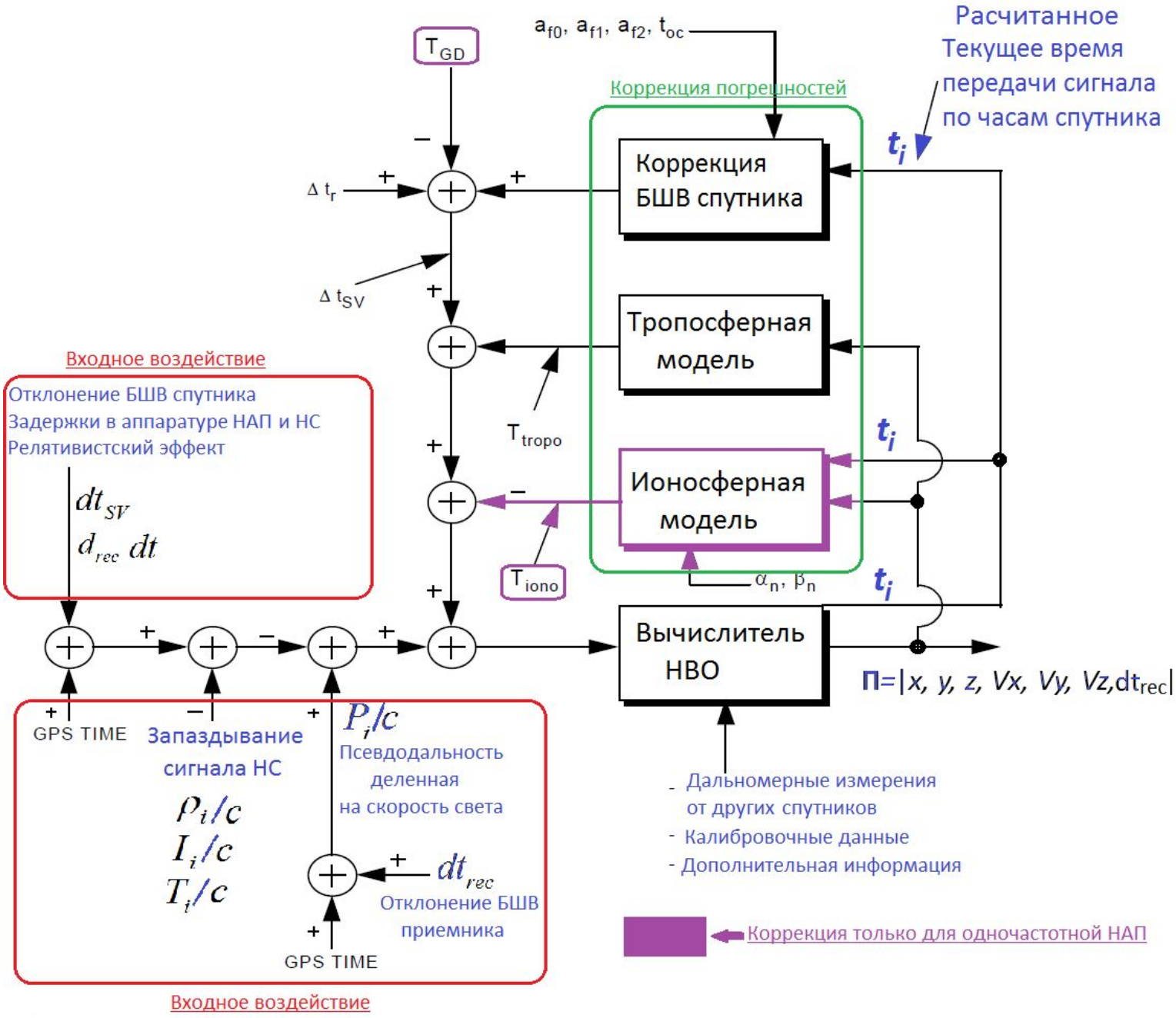
$c \cdot dt_{rec}^k$ **Отклонение ШВ в аппаратуре пользователя от системного времени СРНС**

$c \cdot d_{rec}(t)$ **Задержка сигнала в аппаратуре пользователя (прием и обработка сигнала)**

E_i^k **Эквивалентная дальномерная погрешность неточного прогнозирования эфемерид**

ε^k **Шумовая погрешность в аппаратуре спутника и приемника**

Схема применения корректирующих поправок в НАП



Ионосферная модель дальномерной погрешности (Klobuchar's model)

$$T_{iono} = \begin{cases} F*\left[5.0*10^{-9} + (AMP)\left(1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{24}\right)\right], & |x| < 1.57 \\ F*\left(5.0*10^{-9}\right), & |x| \geq 1.57 \end{cases} \text{(sec)} \quad (1)$$

$$AMP = \begin{cases} \sum_{n=0}^{3} \alpha_n \phi_m^n, & AMP \geq 0 \\ \text{if } AMP < 0,\ AMP = 0 \end{cases} \text{(sec)} \quad (2)$$

$$x = \frac{2\pi(t - 50400)}{PER}, \text{ (radians)} \quad (3)$$

$$PER = \begin{cases} \sum_{n=0}^{3} \beta_n \phi_m^n, & PER \geq 72{,}000 \\ \text{if } PER < 72{,}000,\ PER = 72{,}000 \end{cases} \text{(sec)} \quad (4)$$

$$F = 1.0 + 16.0\,[0.53 - E]^3 \quad (5)$$

$$\phi_m = \phi_i + 0.064\cos(\lambda_i - 1.617) \text{ (semi-circles)}$$

$$\lambda_i = \lambda_u + \frac{\psi \sin A}{\cos\phi_i} \text{ (semi-circles)}$$

$$\phi_i = \begin{cases} \phi_u + \psi\cos A(\text{semi-circles}), & |\phi_i| \leq 0.416 \\ \text{if } \phi_i > +0.416,\ \text{then } \phi_i = +0.416 \\ \text{if } \phi_i < -0.416,\ \text{then } \phi_i = -0.416 \end{cases} \text{(semi-circles)}$$

$$\psi = \frac{0.0137}{E + 0.11} - 0.022 \text{ (semi-circles)}$$

$$t = 4.32 * 10^4 \lambda_i + \text{GPS time} \text{ (sec)}$$

Тропосферная модель дальномерной погрешности (рекомендация РСДКМ)

$$T_{tropo} = -\left(d_{hyd} + d_{wet}\right) \cdot m(E)$$

$$d_{hyd} = z_{hyd}\left(1 - \beta(\varphi, D) \cdot \frac{H}{T(\varphi, D)}\right)^{\frac{g}{R_D} \cdot \beta}$$

$$d_{wet} = z_{wet}\left(1 - \beta(\varphi, D) \cdot \frac{H}{T(\varphi, D)}\right)^{\frac{g}{R_D} \cdot \beta}$$

$$z_{hyd} = 10^{-6} \cdot k_1 \cdot R_D \cdot \frac{P(\varphi, D)}{g}$$

$$z_{wet} = 10^{-6} \cdot k_2 \cdot R_D \cdot T(\varphi, D) \cdot \frac{e(\varphi, D)}{\left(g \cdot \left(\lambda(\varphi, D) + 1\right) - \beta(\varphi, D) \cdot R_D\right)}$$

$$m(E) = \frac{1.001}{\sqrt{0.002001 + \sin^2(E)}}$$

Широта, град	Среднее значение параметра				
	P_0	T_0	e_0	β_0	λ_0
15 или меньше	1013.25	299.65	26.31	0.00630	2.77
30	1017.25	294.15	21.79	0.00605	3.15
45	1015.75	283.15	11.66	0.00558	2.57
60	1011.75	272.15	6.78	0.00539	1.81
75 или больше	1013.00	263.65	4.11	0.00453	1.55
Широта, град	**Сезонное изменение параметра**				
	ΔP	ΔT	Δe	$\Delta\beta$	$\Delta\lambda$
15 или меньше	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
30	-3.75	7.00	8.85	0.00025	0.33
45	-2.25	11.00	7.24	0.00032	0.46
60	-1.75	15.00	5.36	0.00081	0.74
75 или больше	-0.50	14.50	3.39	0.00062	0.30

$$X(\varphi, D) = X_0(\varphi) - \Delta X(\varphi) \cdot \frac{\cos\left(2\pi\left(D - D_{\min}\right)\right)}{365.25}$$

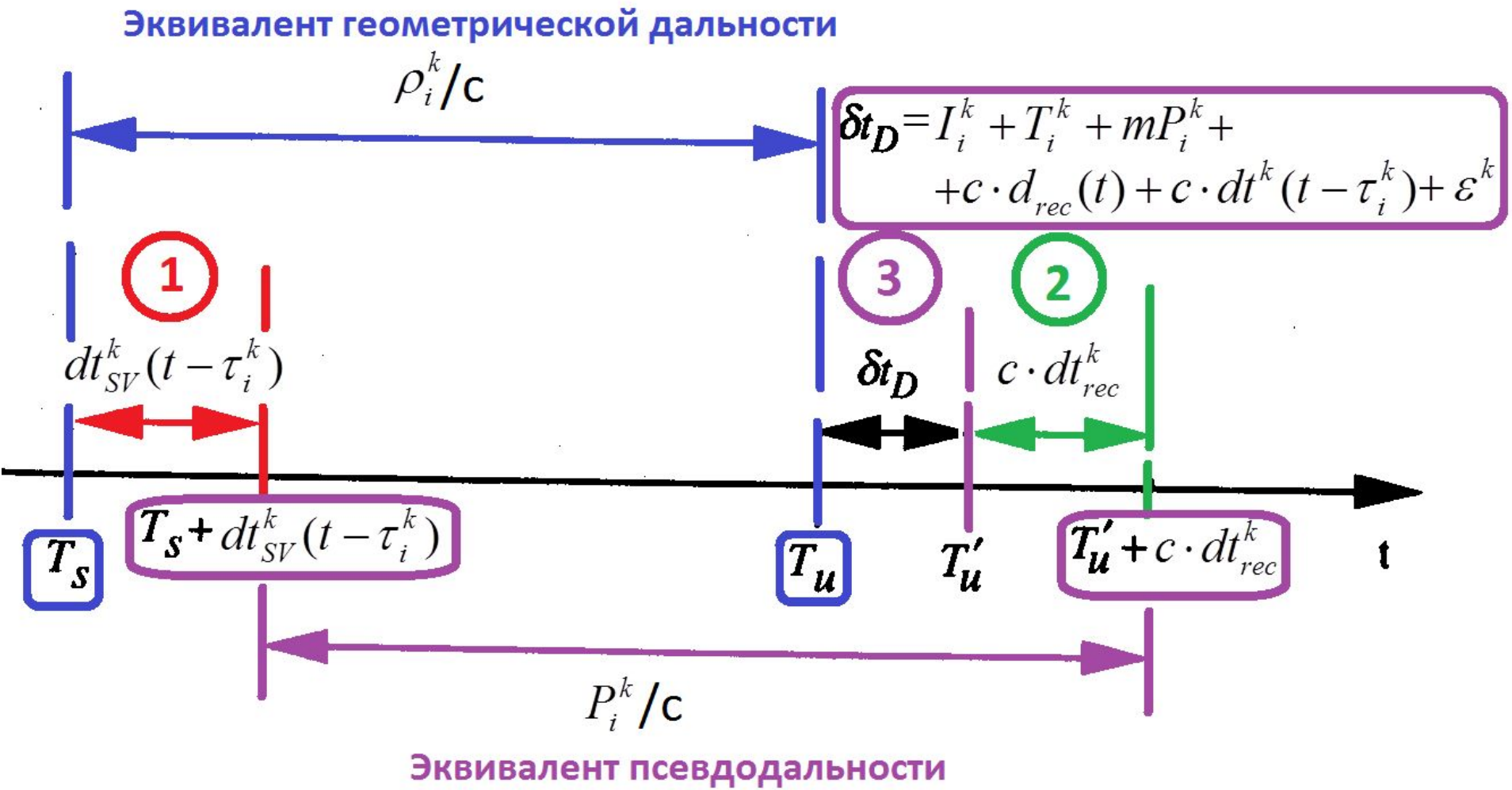
$$D_{\min} = 28 (\textit{северные широты})$$

$$D_{\min} = 211 (\textit{южные широты})$$

K_1=77,604 К/мбар; K_2=382000 К/мбар;

R_D=287,054 Дж/кг/К

Шкалы времени и их согласование



Коррекция погрешности, вызванной отклонением БШВ спутника

$$t = t_{sv} - \Delta t_{sv}$$

t = системное время GPS (sec),

t_{sv} = время, измеренное и переданное в сообщении со спутника (sec).

Δt_{sv} = отклонение БШВ спутника относительно системного времени GPS (sec).

$$\Delta t_{sv} = a_{f0} + a_{f1}(t - t_{oc}) + a_{f2}(t - t_{oc})^2 + \Delta t_r$$

$$\Delta t_r = -\frac{2\,\vec{R}\bullet\vec{V}}{c^2}$$

$$\Delta t_r = Fe(A)^{1/2}\sin E_k$$

поправка на релятивистский эффект

$$F = \frac{-2\mu^{1/2}}{c^2} = -4.442807633\,(10)^{-10}\ \text{sec/(meter)}^{1/2}$$

$$\mu = 3.986005 \times 10^{14}\ \frac{\text{meters}^3}{\text{second}^2} =$$

универсальный гравитационный параметр Земли

$$c = 2.99792458 \times 10^8\ \frac{\text{meters}}{\text{second}}$$

Дополнительная коррекция на эффект задержки сигнала в аппаратуре НС (для одночастотной НАП)

$$(\Delta t_{SV})_{L1} = \Delta t_{SV} - T_{GD} \qquad (\Delta t_{SV})_{L2} = \Delta t_{SV} - \gamma T_{GD}$$

$$\gamma = (f_{L1}/f_{L2})^2 = (1575.42/1227.6)^2 = (77/60)^2.$$

$$T_{GD} = \frac{1}{1-\gamma}\,(t_{L1} - t_{L2})$$