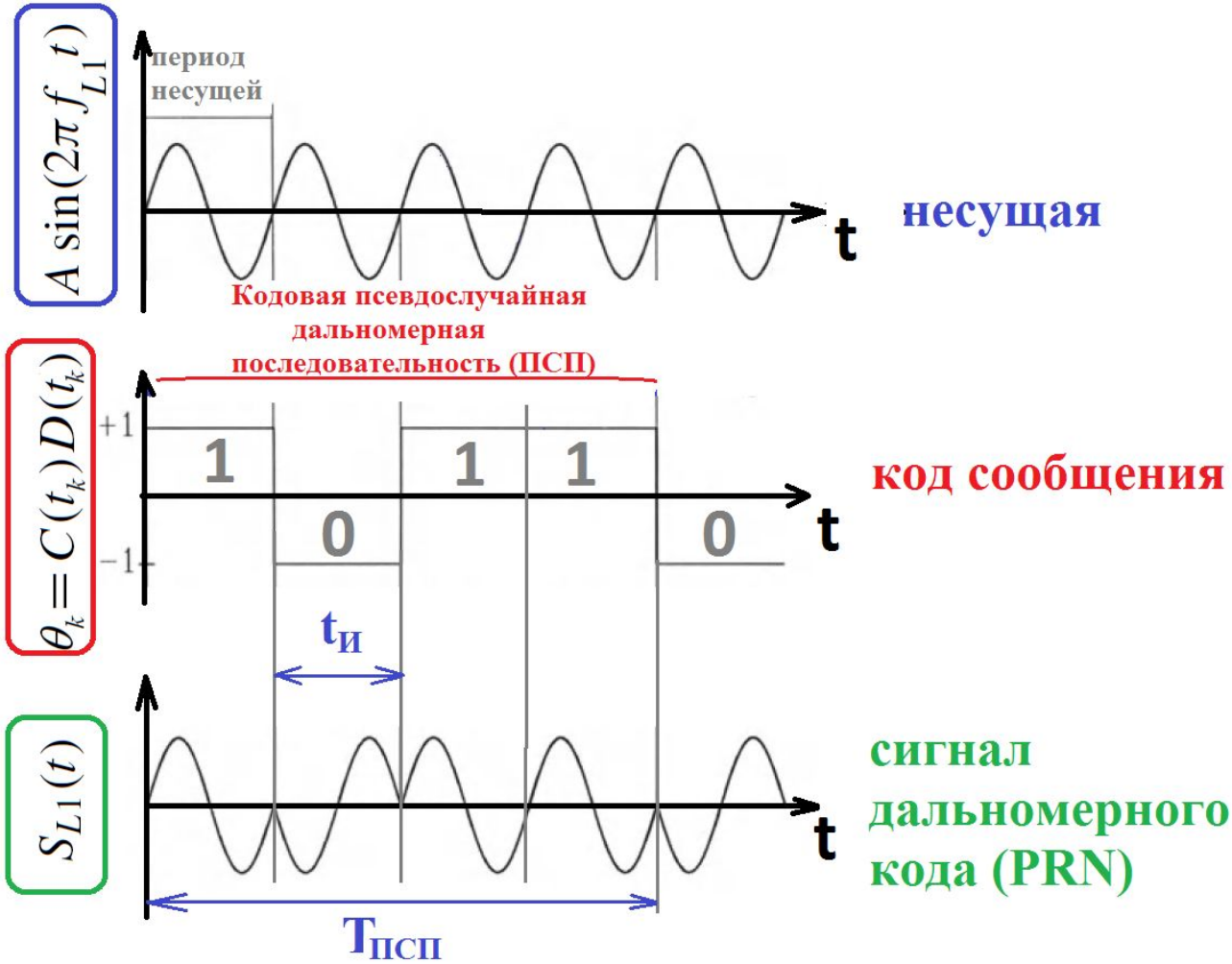
Лекция 2

Понятие псевдодальности

Принцип беззапросного измерения псевдо-дальности и псевдо-фазы

Сигнал навигационного спутника

$$S_{L1}(t) = A\,P(t)\,D(t)\cos(2\pi f_1 t + \phi) + A\,C(t)\,D(t)\sin(2\pi f_1 t + \phi)$$



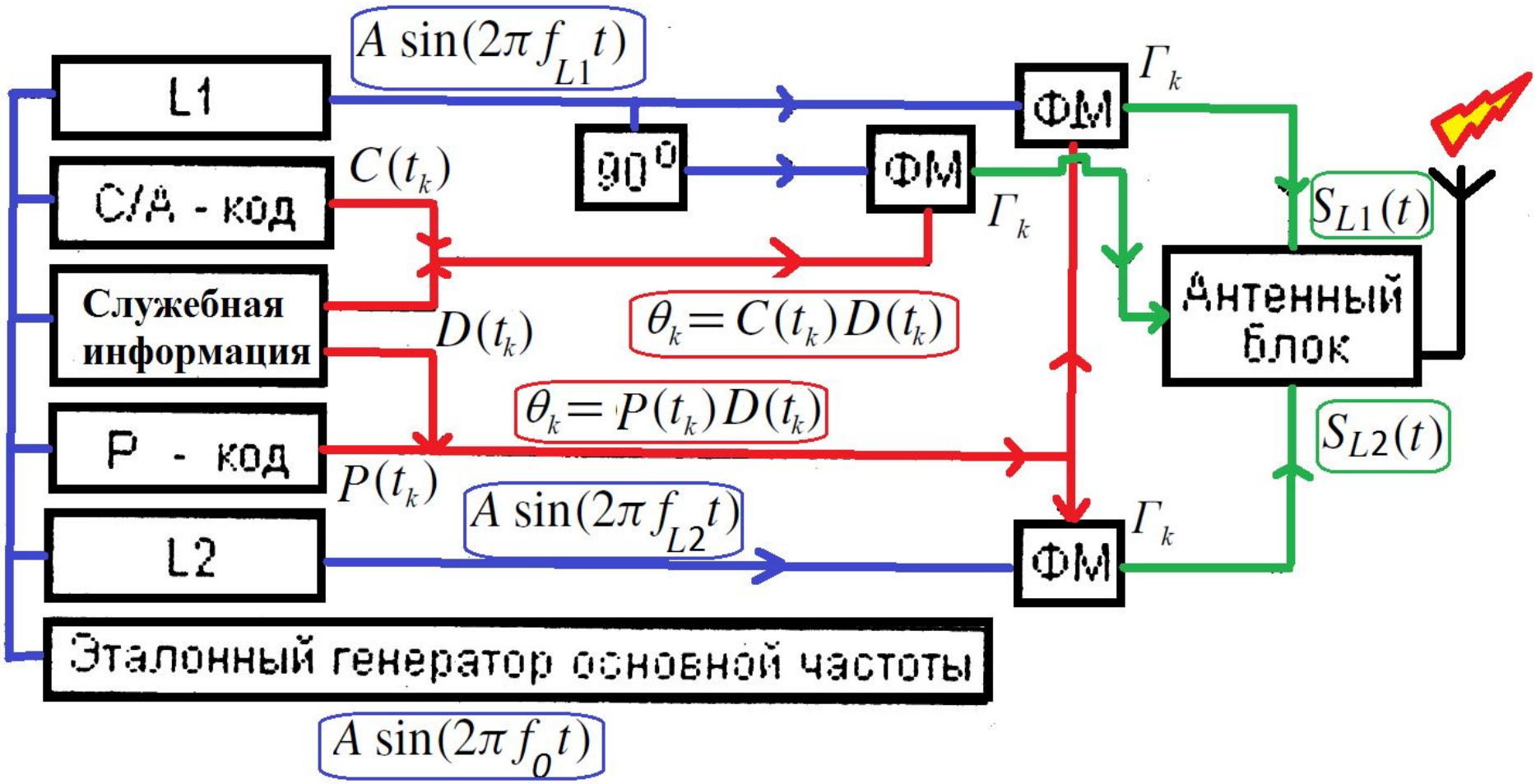
$$S_{L1}(t) = A\sin(\omega_{L1} t + \Gamma_k \cdot \pi)$$

$$\Gamma_k = \Gamma_{k-1} \oplus \theta_k, \qquad k = 1,2,3.....$$

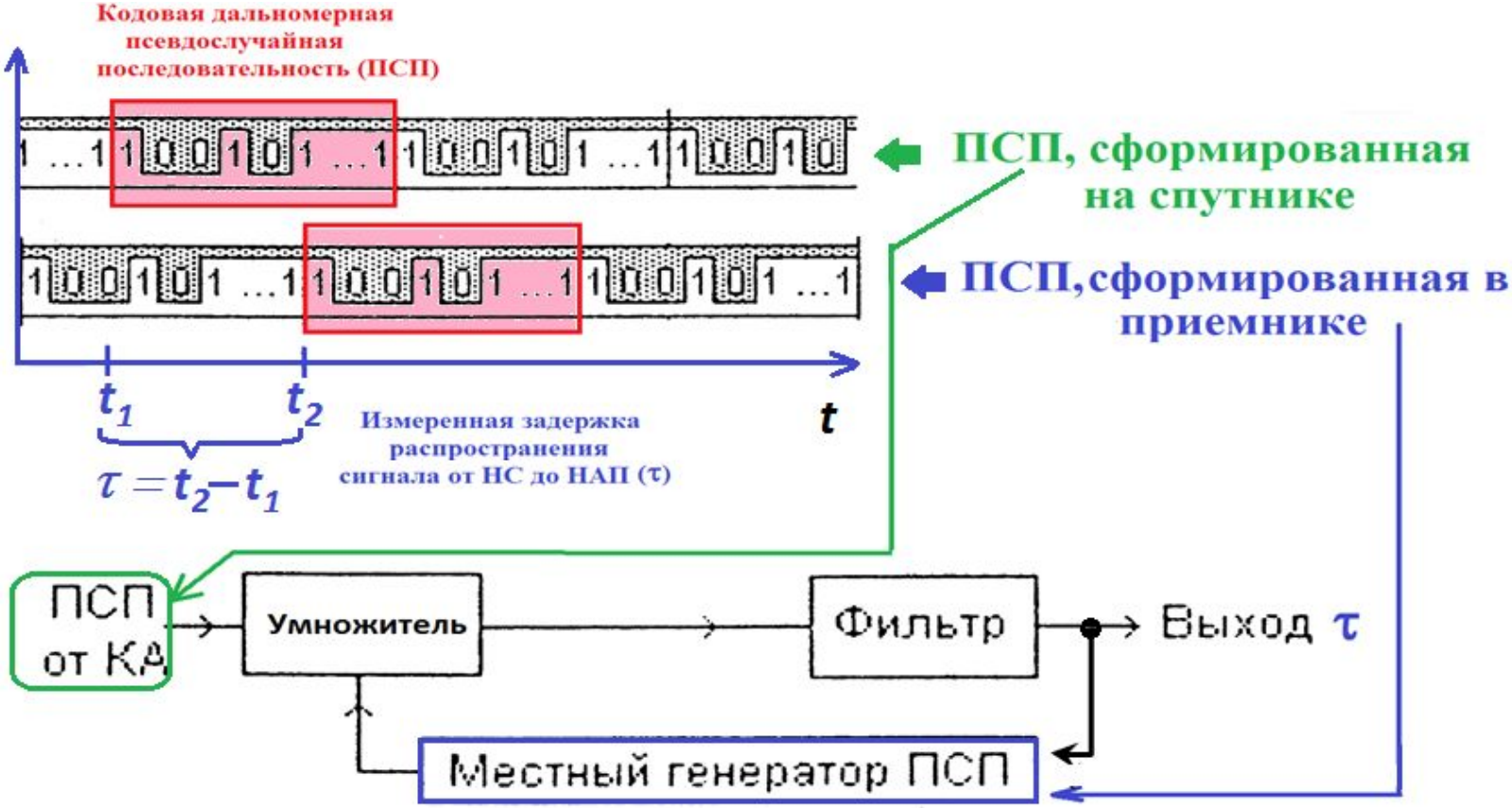
Сигнал навигационного спутника

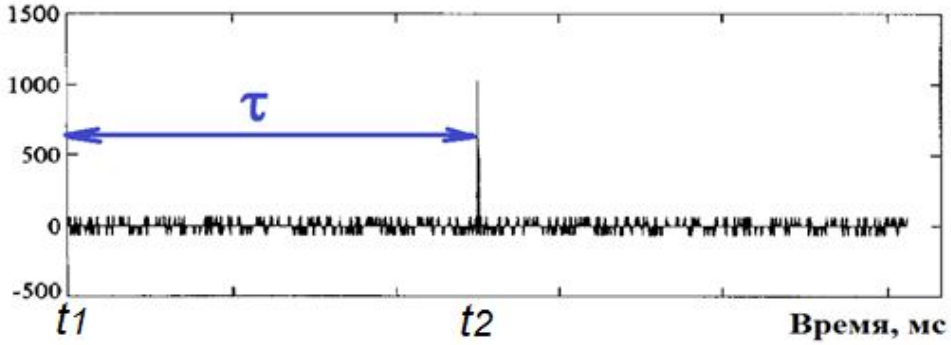
$$S_{L1}(t) = A\,P(t)\,D(t)\cos(2\pi f_1 t + \phi) + A\,C(t)\,D(t)\sin(2\pi f_1 t + \phi)$$

Схема образования радиосигналов в КА GPS

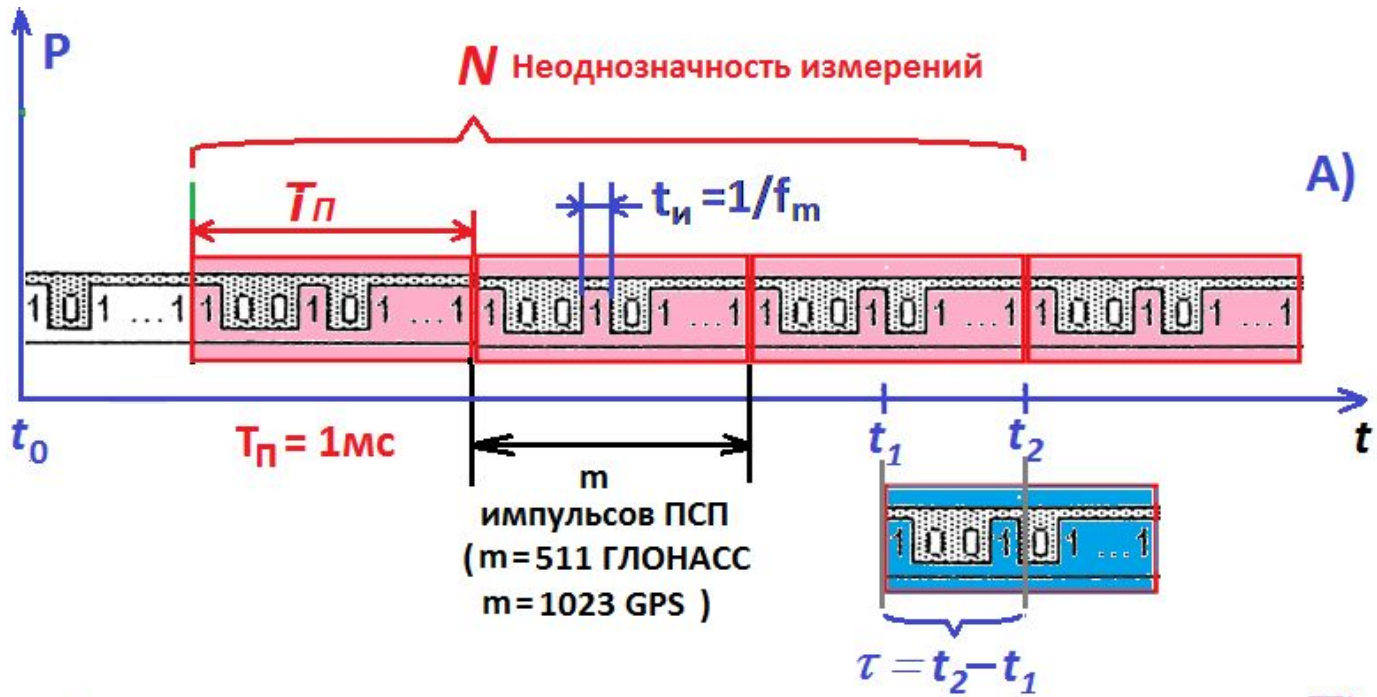


Измерение псевдодальности





Потенциальная точность измерений



$$\delta P = 0.01 \cdot (c \cdot t_И)$$
$$\delta \Phi = 0.01 \cdot \lambda$$

$$\delta P = 4 - 6 м \quad (СА \quad код)$$
$$\delta P = 0.4 - 0.6 м \quad (Р \quad код)$$
$$\delta \Phi = 0.1 .... 0.2 \quad см$$

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**

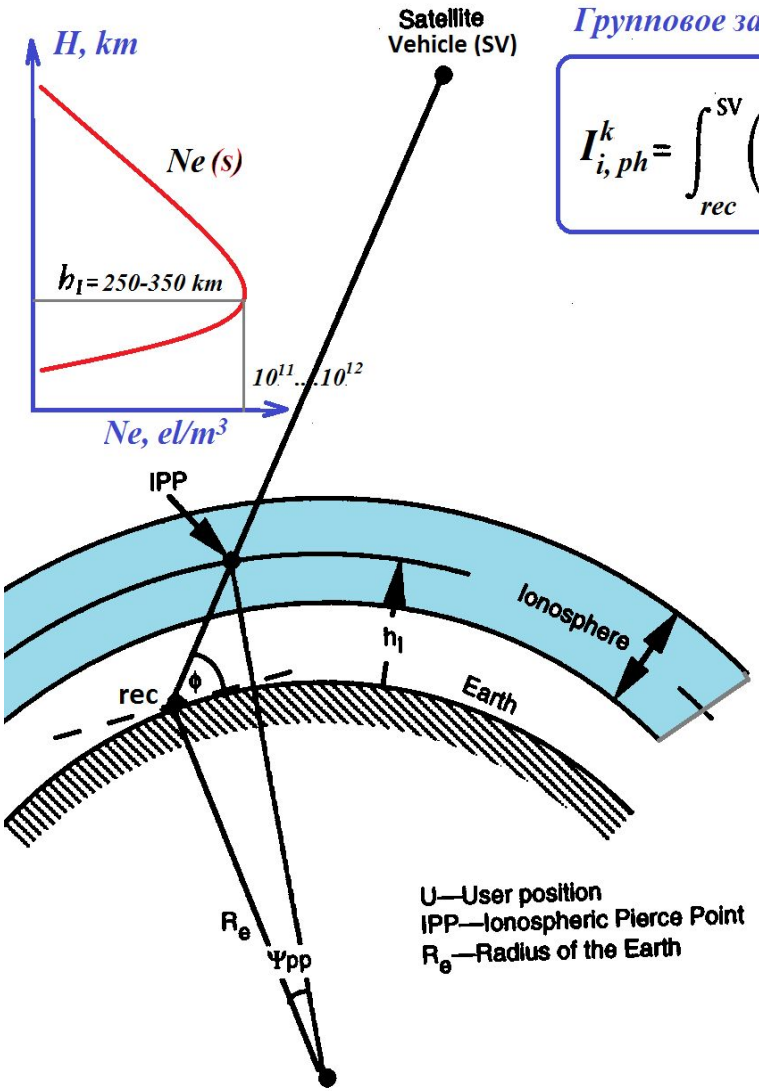
ε^k **Шумовая погрешность в аппаратуре спутника и приемника**

Факторы, определяющие псевдодальность

Общий бюджет дальномерных

Место возникновения	Источник погрешности	Величина погрешности (1σ, m)
Космический сегмент (ПКА)	$c \cdot dt_{SV}^{k}(t-\tau_i^k)$ E_i^k $c \cdot dt^k(t-\tau_i^k)$ и ε^k	3.0 1.0 0.5
Подсистема контроля и управления (ПКУ)	E_i^k ε^k	4.2 0.9
Сегмент пользователя (НАП)	I_i^k T_i^k $c \cdot d_{rec}(t)$ mP_i^k ε^k	2.3 2.0 1.5 1.2 0.5
UERE	Все сегменты	6.6

Ионосферная дальномерная погрешность



Групповое запаздывание (Group Delay)

$$I^k_{i,ph} = \int_{rec}^{SV}\left(1 - \frac{40.3\,Ne(s)}{f^2}\right)ds - \int_{rec}^{SV} dl \quad (1);$$

$$I^k_{i,gr} = \frac{40.3\ \mathrm{TEC}}{f^2} \quad (4);$$

$$I^k_{i,gr} = F_{pp}\frac{40.3\ \mathrm{TEC}}{f^2} \quad (7);$$

Фазовое опережение (Phase Advance)

$$I^k_{i,gr} = \int_{rec}^{SV}\left(1 + \frac{40.3\,Ne(l)}{f^2}\right)ds - \int_{rec}^{SV} dl \quad (2)$$

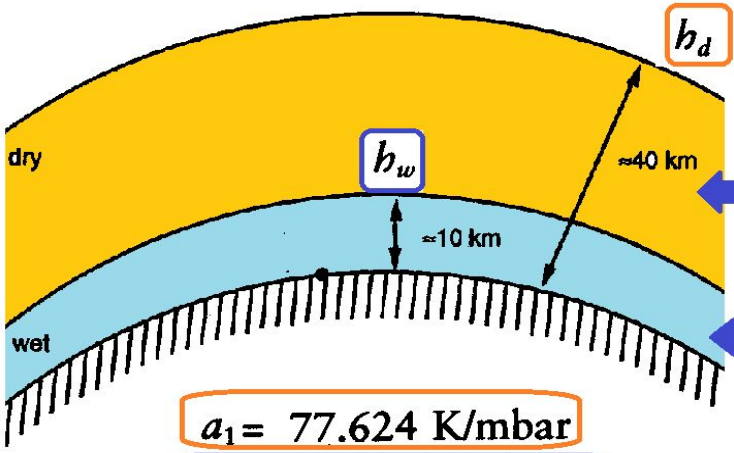
$$\mathrm{TEC} = \int_{rec}^{SV} Ne(s)\,ds \quad (3)$$

$$I^k_{i,ph} = -\frac{40.3\ \mathrm{TEC}}{f^2} \quad (5)$$

$$F_{pp} = \left[1 - \left(\frac{R_e \cos\phi}{R_e + h_I}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$I^k_{i,ph} = -F_{pp}\frac{40.3\ \mathrm{TEC}}{f^2} \quad (8)$$

Тропосферная дальномерная



$$T_i^k = 10^{-6}\int_{rec}^{h_d} N\, ds$$ 1)

$$N \equiv 10^6(n-1) = N_{d,0} + N_{w,0}$$

$$N_{d,0} \approx a_1 \frac{p_0}{T_0}$$ 2)

$$N_{w,0} \approx a_2 \frac{e_0}{T_0} + a_3 \frac{e_0}{T_0^2}$$ 3)

$a_1 = 77.624$ K/mbar

$a_2 = -12.92$ K/mbar

$a_3 = 371{,}900$ K²/mbar

$$h_d = 0.011385 \frac{p_0}{N_{d,0} \times 10^{-6}}$$

$$h_w = \frac{0.011385}{N_{w,0} \times 10^{-6}} \left[\frac{1{,}255}{T_0} + 0.05 \right] e_0$$ 4)

$$T_i^k = \frac{10^{-6}}{5} [N_{d,0} h_d + N_{w,0} h_w]$$ 5)

p_0 парциальное давление сухой компоненты на уровне моря (mbar)

T_0 температура воздуха на уровне моря (К)

e_0 парциальное давление пара на уровне моря (mbar)

h_d верхняя граница протяженности сухой компоненты тропосферы над уровнем моря (км)

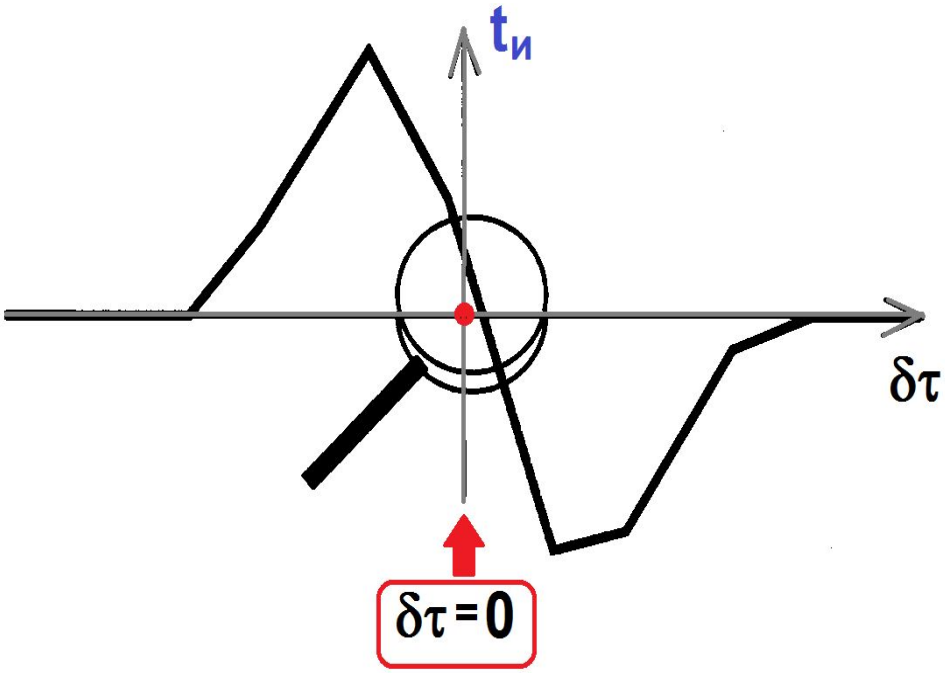
h_w граница распространения влажной компоненты воздуха в тропосфере (км)

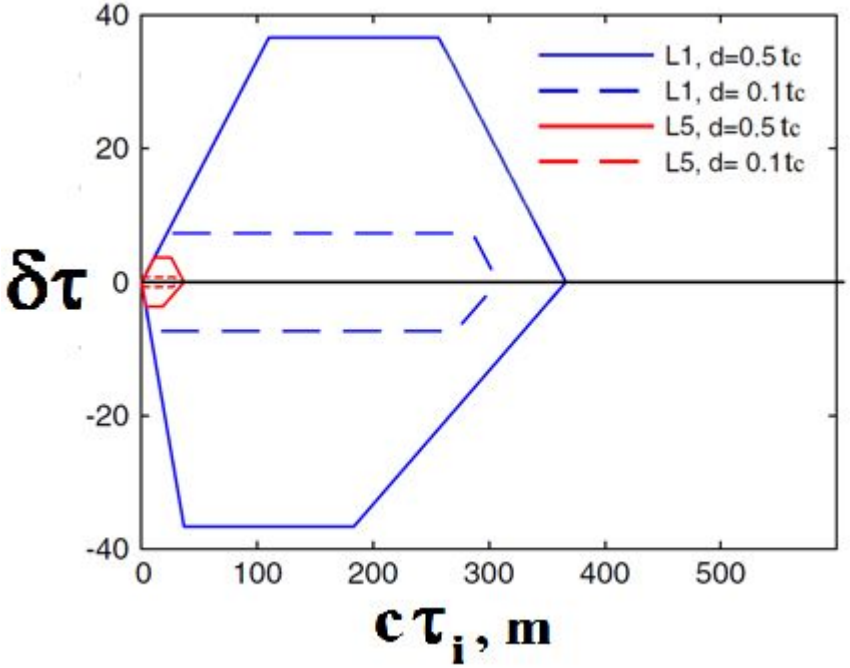
Погрешность многолучевости и шумовые погрешности

Погрешность многолучевости и шумовые погрешности

Проявление многолучевости

$$S_{L1}(t) = \sum_{i=1}^{n} \left(A_i(t) P(t-\tau_i) \cos(2\pi f_1 t + \phi_i) + A_i(t) C(t-\tau_i) \sin(2\pi f_1 t + \phi_i) \right)$$





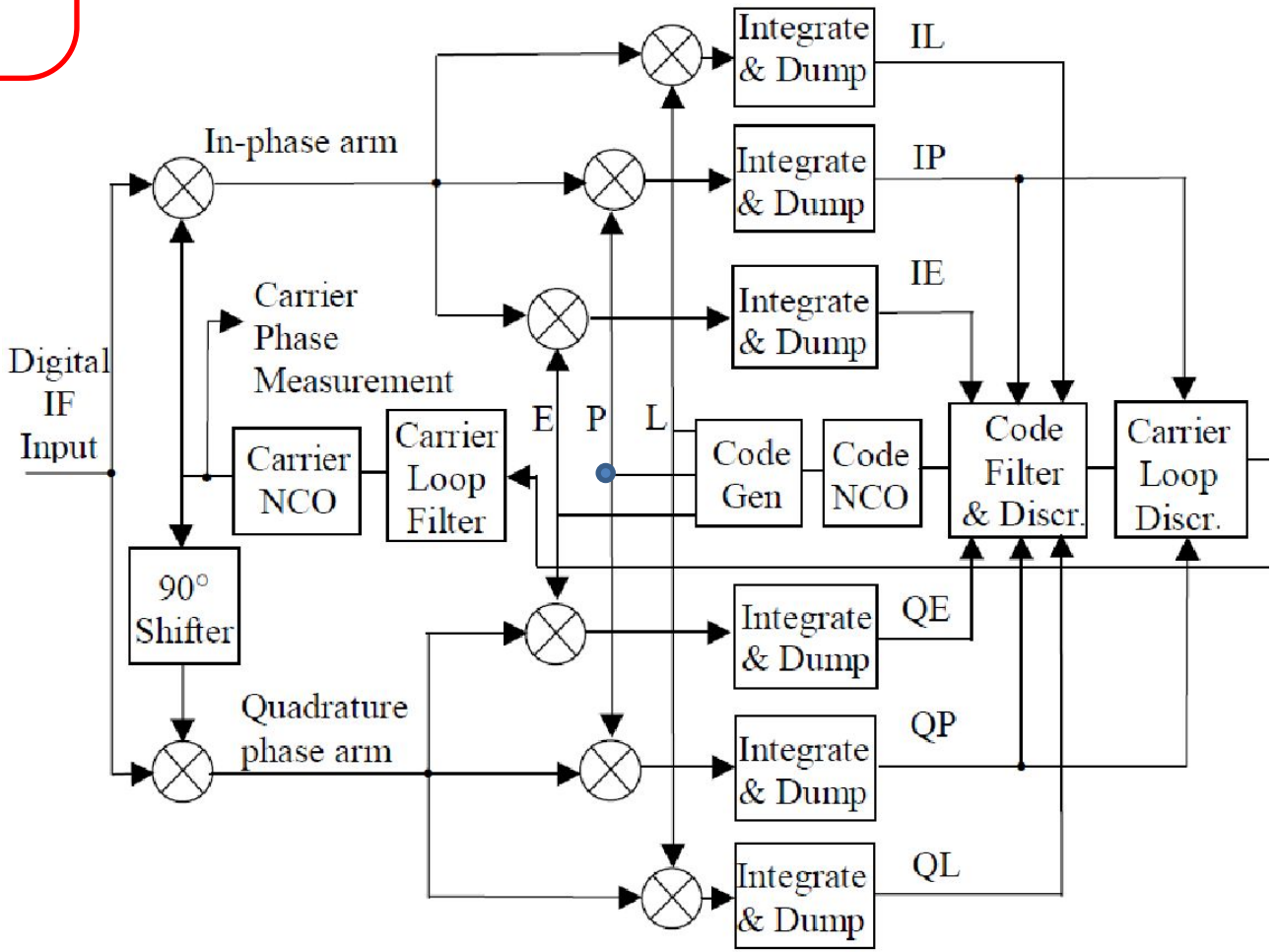
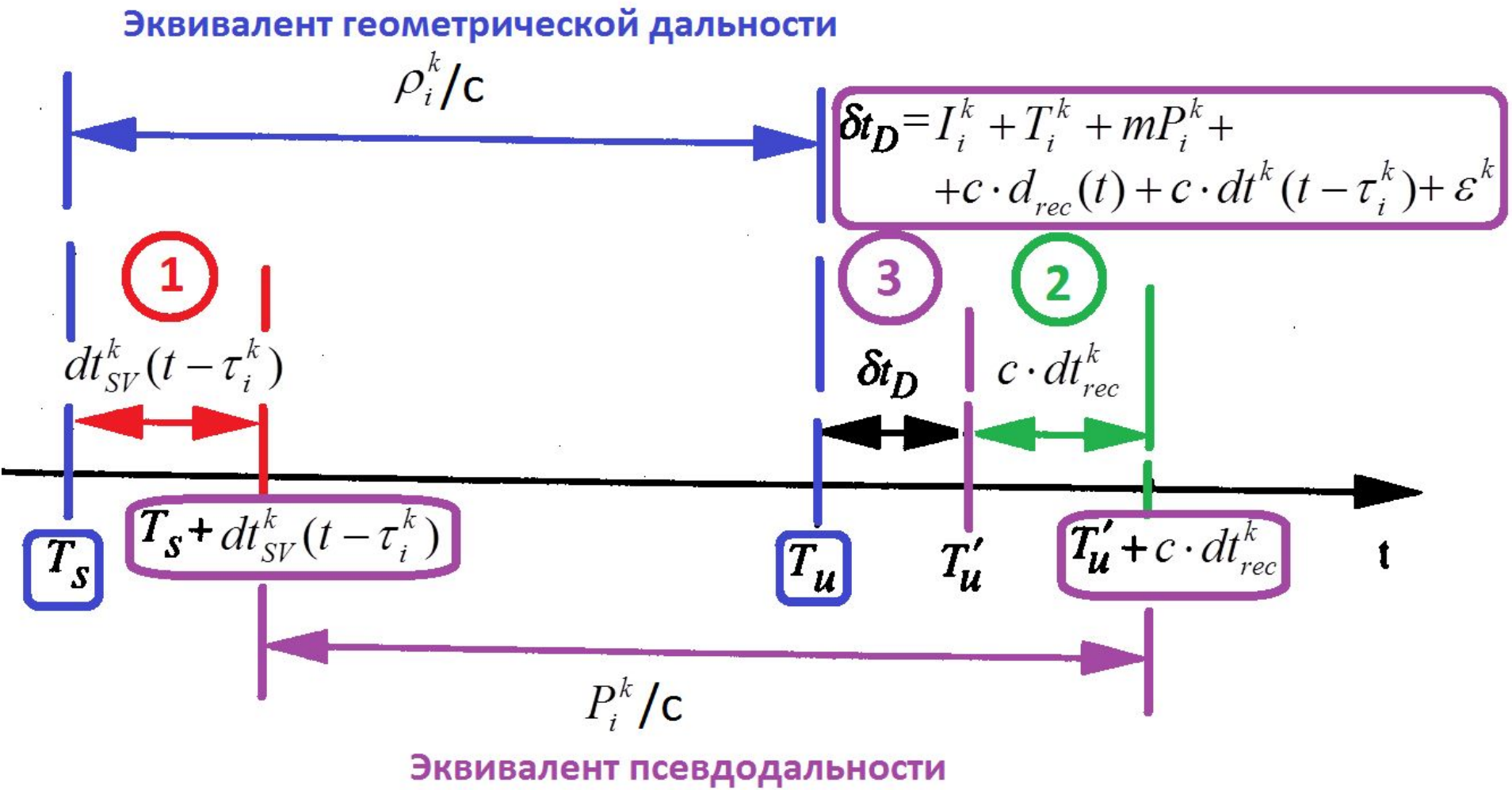
Погрешность многолучевости и шумовые погрешности

Влияние шумов и помех

$$CN_0' = 10\lg\left(10^{-0.1CN_0} + \frac{10^{0.1JS}}{Q\cdot\frac{m}{T_П}}\right), дБ$$

$$D_\varphi = \frac{\Delta F}{CN_0'}\left(1+\frac{1}{2\cdot CN_0'\cdot T_{COR}}\right)$$

$$D_\tau = \frac{\Delta F\cdot\tau_э^2}{2\cdot CN_0'}\left(1+\frac{2}{CN_0'\cdot T_{COR}}\right)$$



Шкалы времени и их согласование