

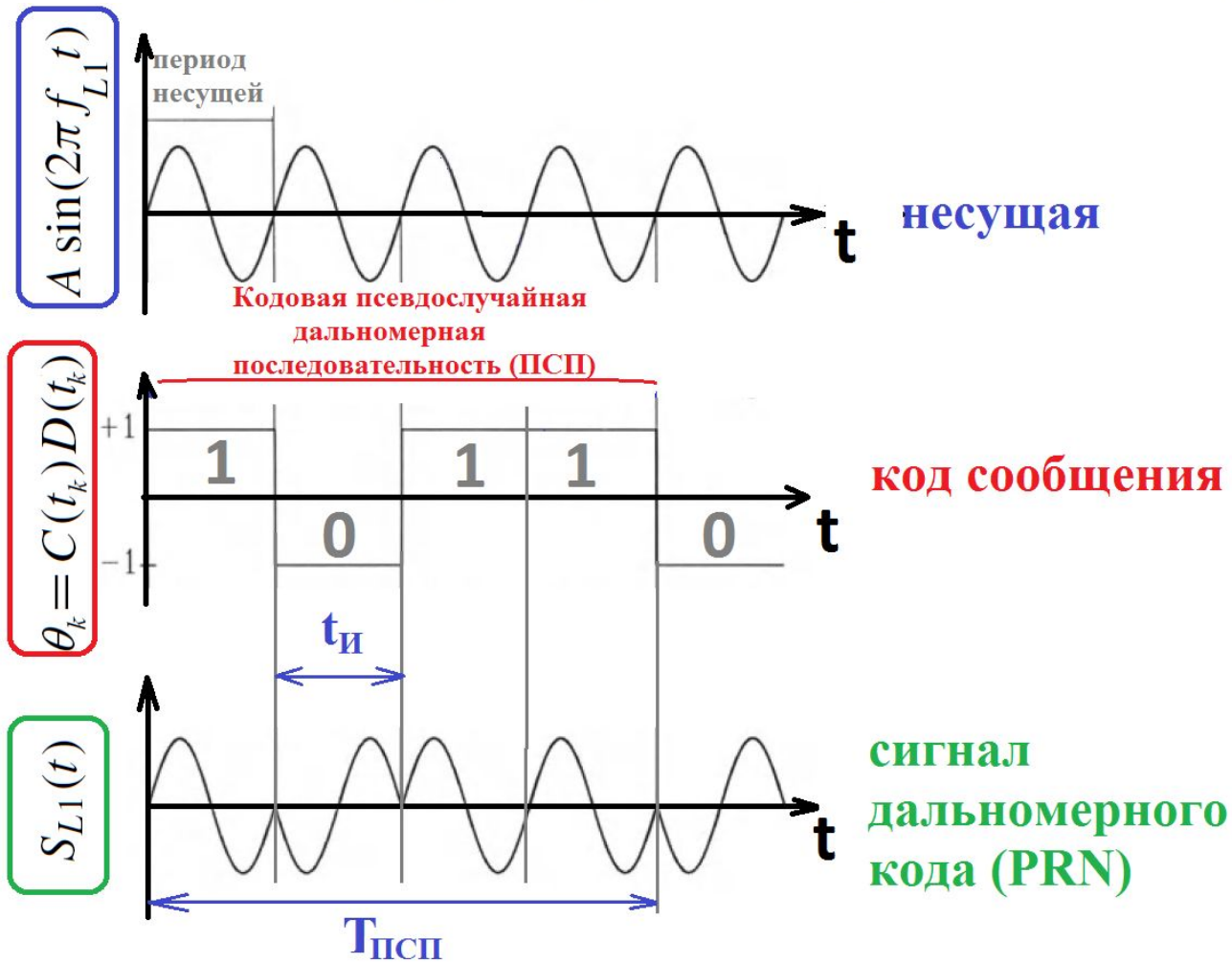
Лекция 2

Понятие псевдодальности

Принцип беззапросного измерения псевдо-дальности и псевдо-фазы

Сигнал навигационного спутника

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



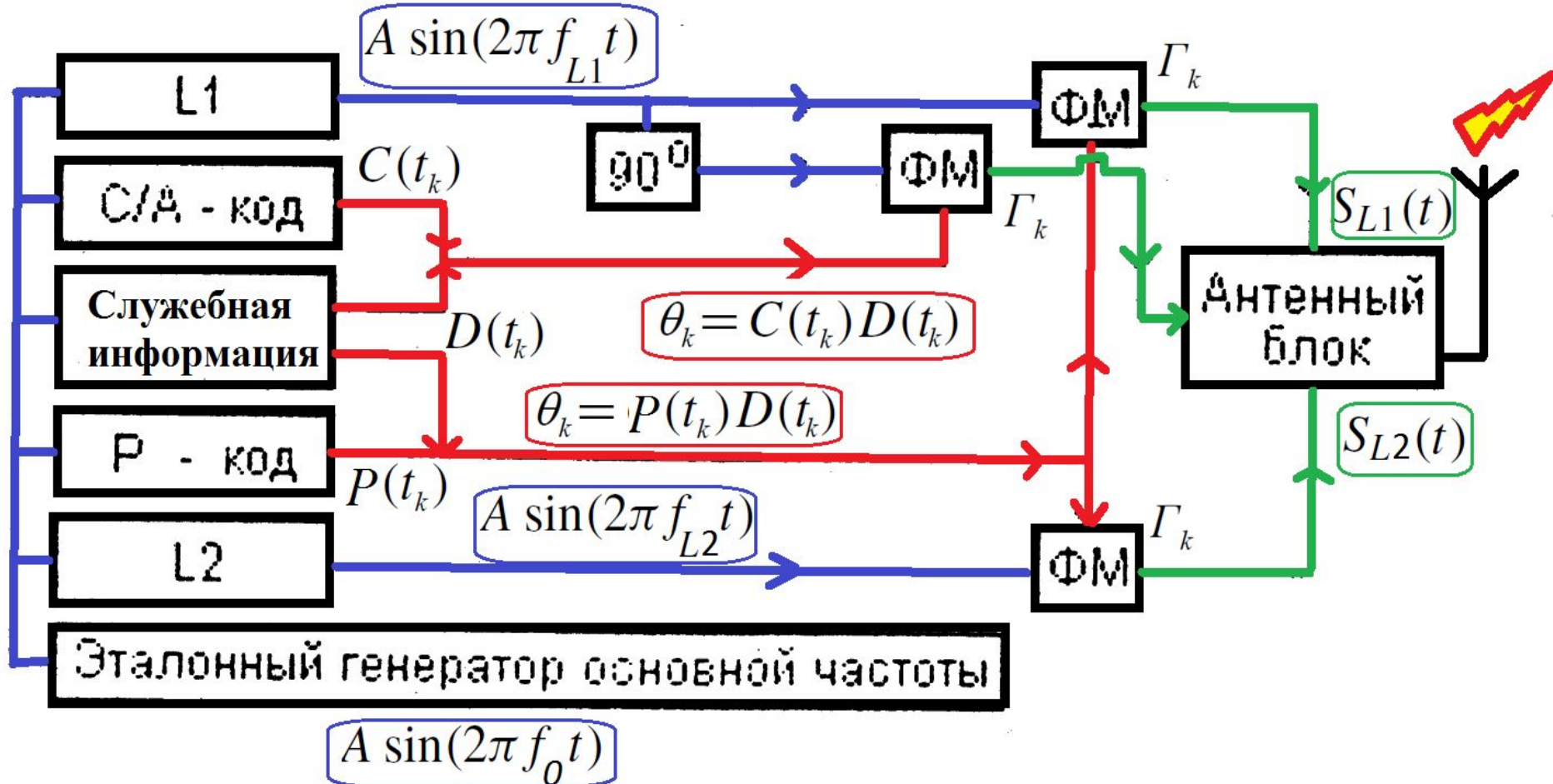
$$S_{L1}(t) = A \sin(\omega_{L1} t + \Gamma_k \cdot \pi)$$

$$\Gamma_k = \Gamma_{k-1} \oplus \theta_k, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

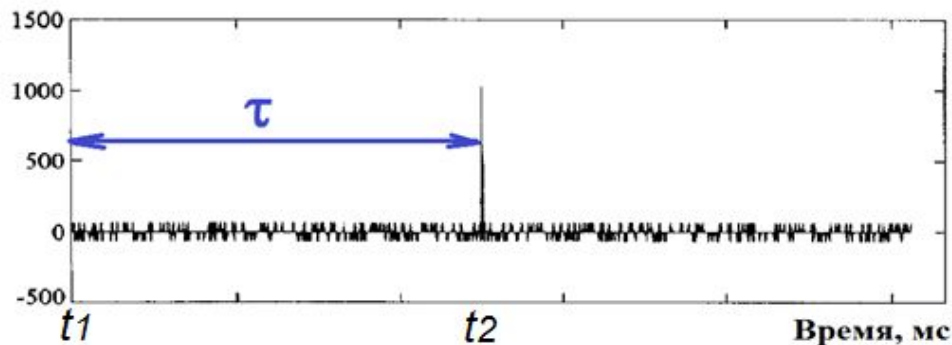
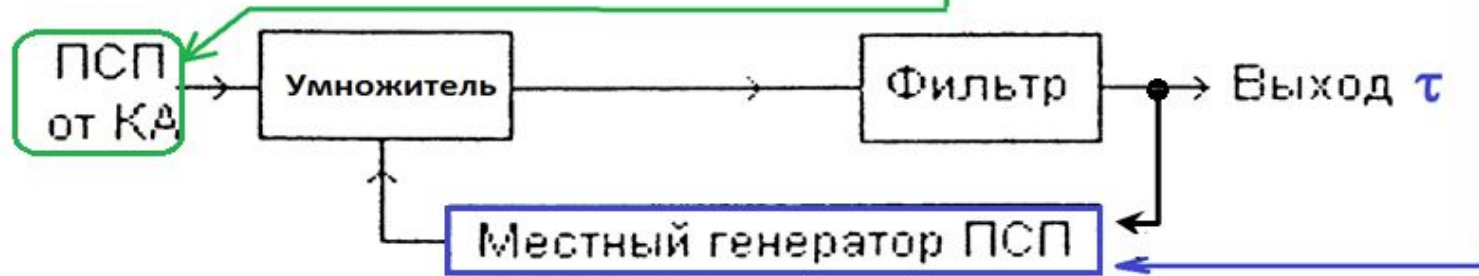
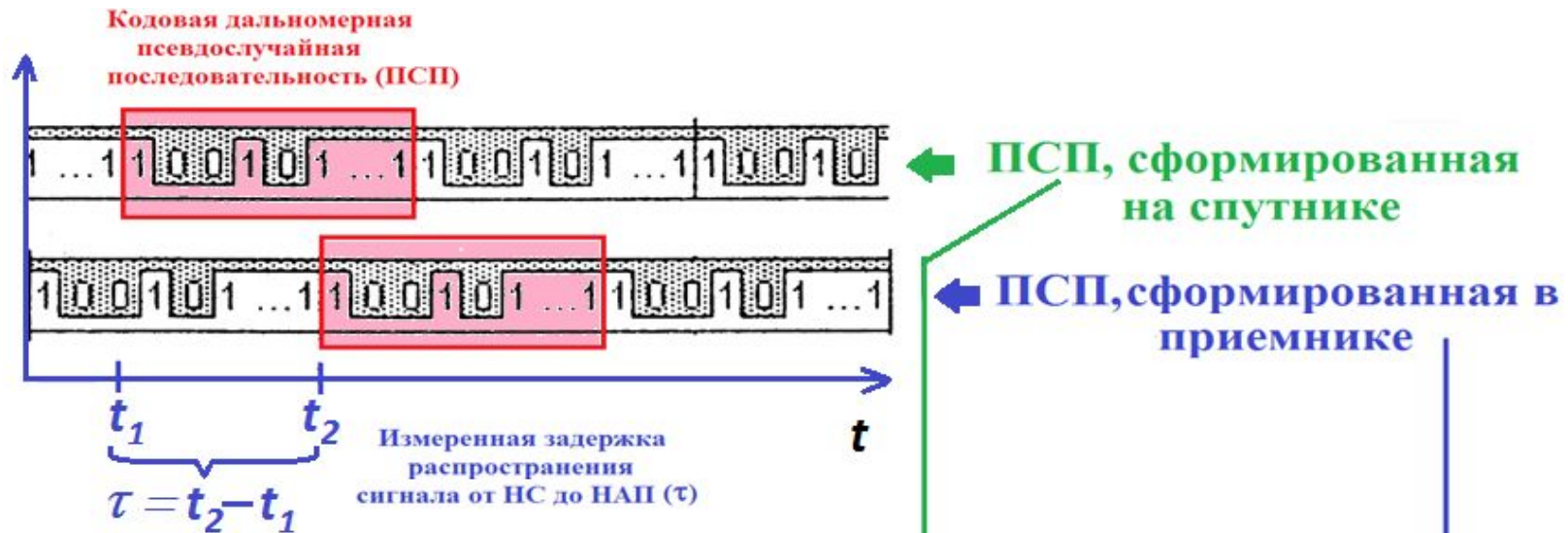
Сигнал навигационного спутника

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

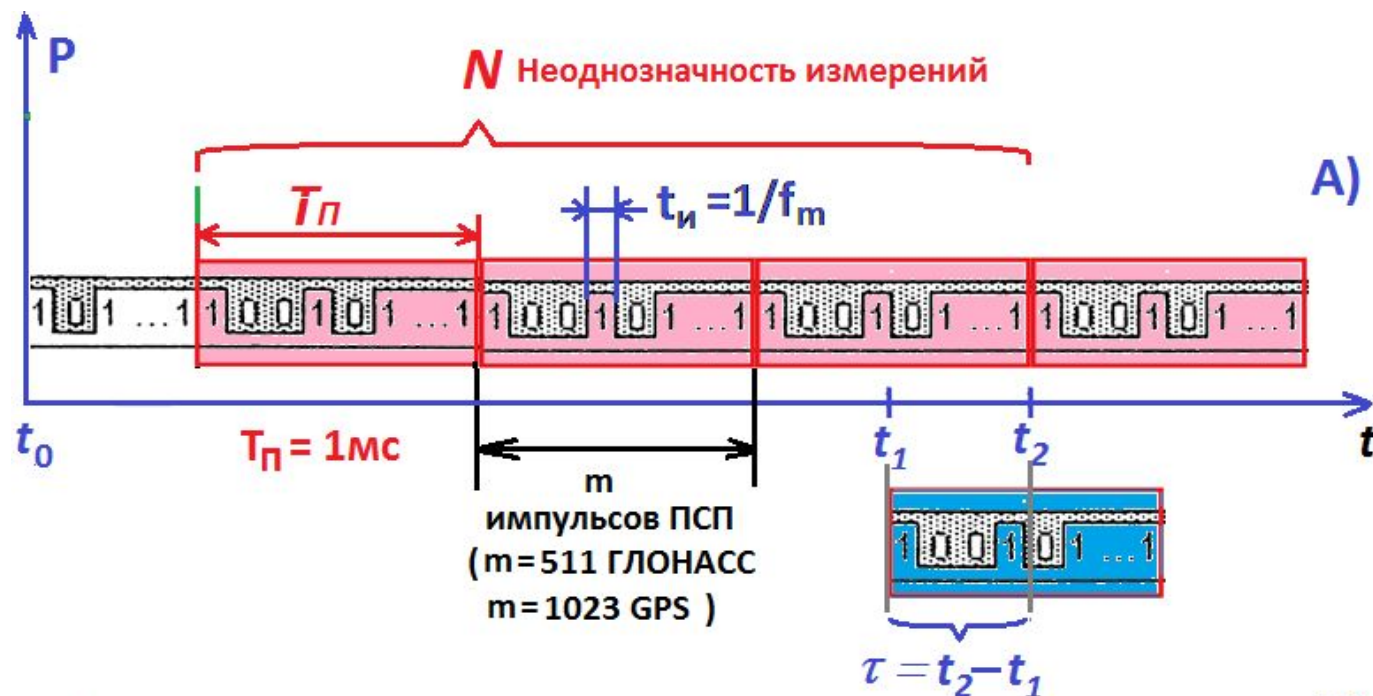
Схема образования радиосигналов в КА GPS



Измерение псевдодальности



Потенциальная точность измерений



$$\delta P = 0.01 \cdot (c \cdot t_{и})$$

$$\delta \Phi = 0.01 \cdot \lambda$$



$$\delta P = 4 - 6 \text{ м} \quad (\text{CA код})$$

$$\delta P = 0.4 - 0.6 \text{ м} \quad (P \text{ код})$$

$$\delta \Phi = 0.1 \dots 0.2 \text{ см}$$

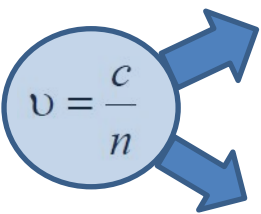
Факторы, определяющие псевдодальность

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

Геометрическая дальность:

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

Локально-зависимые дальномерные погрешности:



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

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

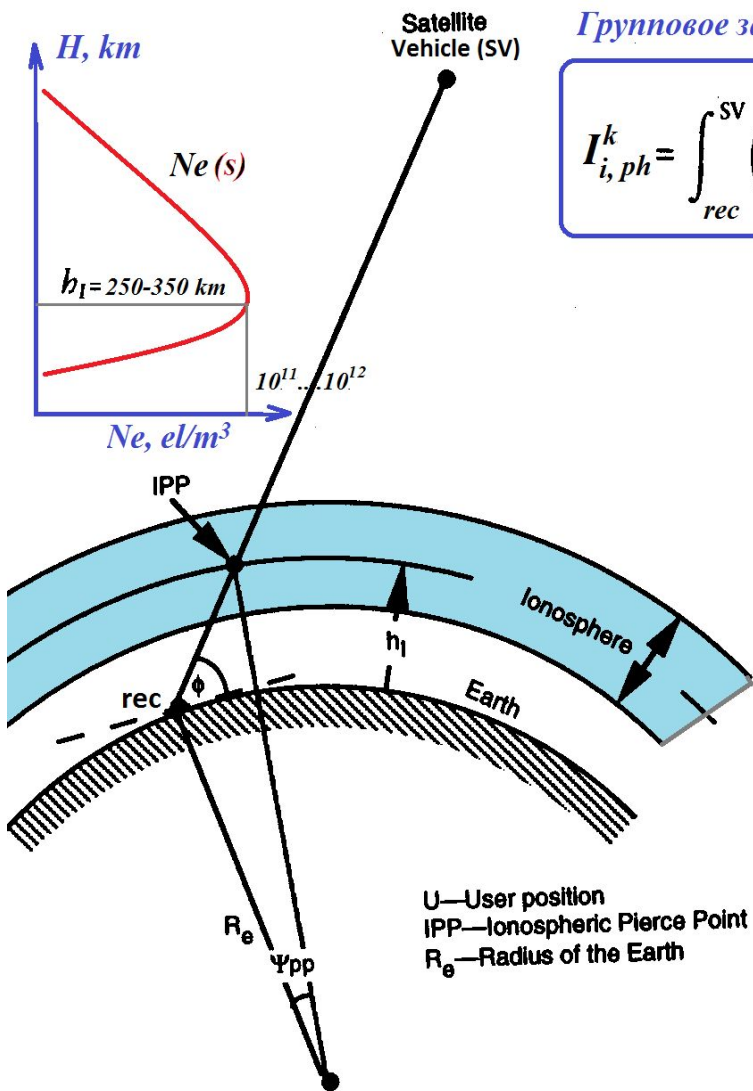
ε^k Шумовая погрешность в аппаратуре спутника и приемника

Факторы, определяющие псевдодальность

Общий бюджет дальномерных

Место возникновения	Источник погрешности	Величина погрешности (1σ, м)
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)

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

Фазовое опережение (Phase Advance)

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

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

$$I_{i,gr}^k = \frac{40.3 TEC}{f^2} \quad (4);$$

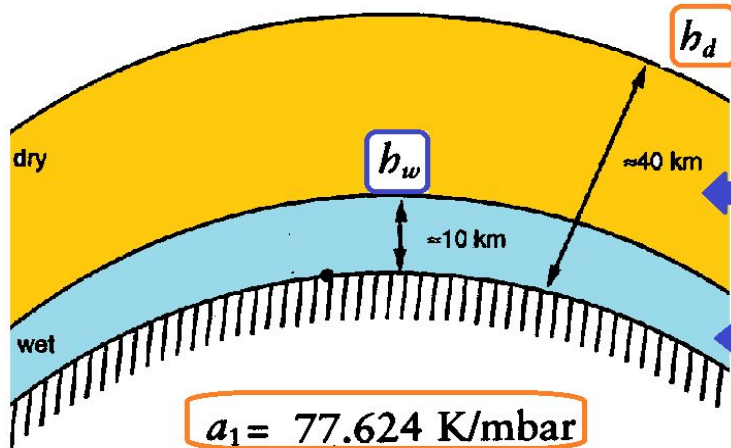
$$I_{i,ph}^k = -\frac{40.3 TEC}{f^2} \quad (5)$$

$$F_{pp} = \left[1 - \left(\frac{R_e \cos \phi}{R_e + h_1} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

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

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

Тропосферная дальномерная



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

$$N \equiv 10^6(n - 1) = N_{d,0} + N_{w,0} \quad 2)$$

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

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

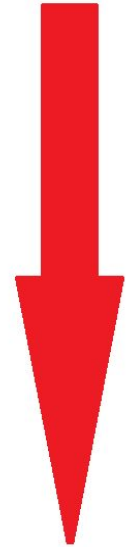
$$a_1 = 77.624 \text{ K/mbar}$$

$$a_2 = -12.92 \text{ K/mbar}$$

$$a_3 = 371,900 \text{ K}^2/\text{mbar}$$

$$h_d = 0.011385 \frac{p_0}{N_{d,0} \times 10^{-6}} \quad 4)$$

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



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

p_0 парциальное давление сухой компоненты на уровне моря (mbar)

T_0 температура воздуха на уровне моря (K)

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)

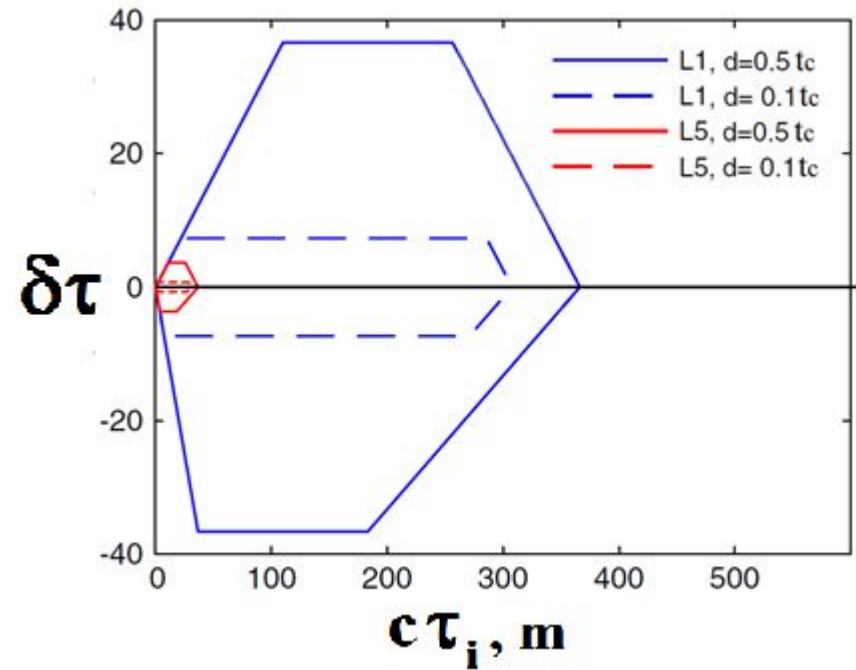
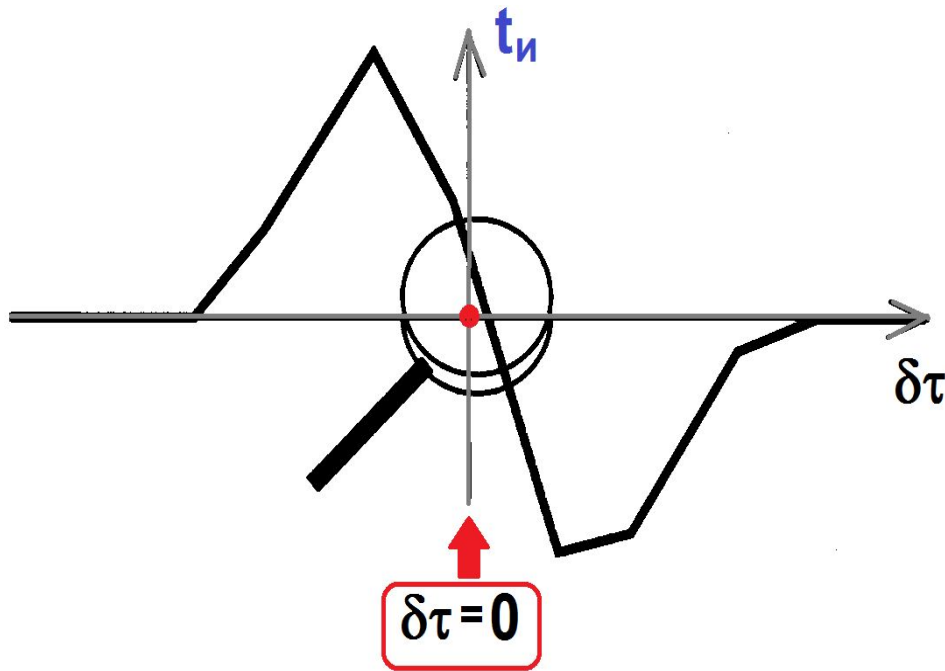
Погрешность многолучевости и шумовые погрешности



Погрешность многолучевости и шумовые погрешности

Проявление многолучевости

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



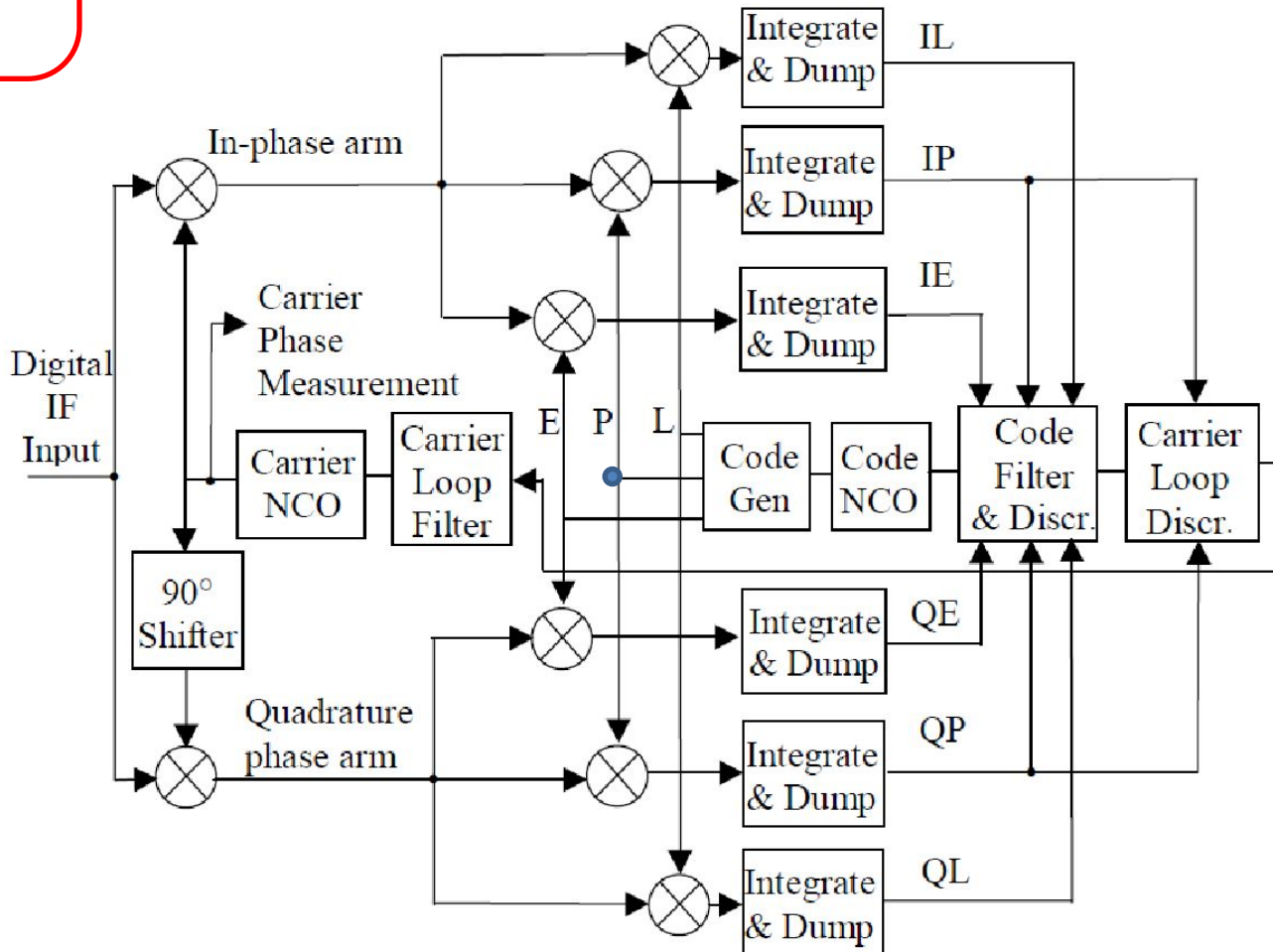
Погрешности Влияние шумов и помех

$$CN'_0 = 10 \lg \left(10^{-0.1CN_0} + \frac{10^{0.1JS}}{Q \cdot \frac{m}{T_{\Pi}}} \right), \text{дБ}$$



$$D_{\varphi} = \frac{\Delta F}{CN'_0} \left(1 + \frac{1}{2 \cdot CN'_0 \cdot T_{COR}} \right)$$

$$D_{\tau} = \frac{\Delta F \cdot \tau_{\Sigma}^2}{2 \cdot CN'_0} \left(1 + \frac{2}{CN'_0 \cdot T_{COR}} \right)$$

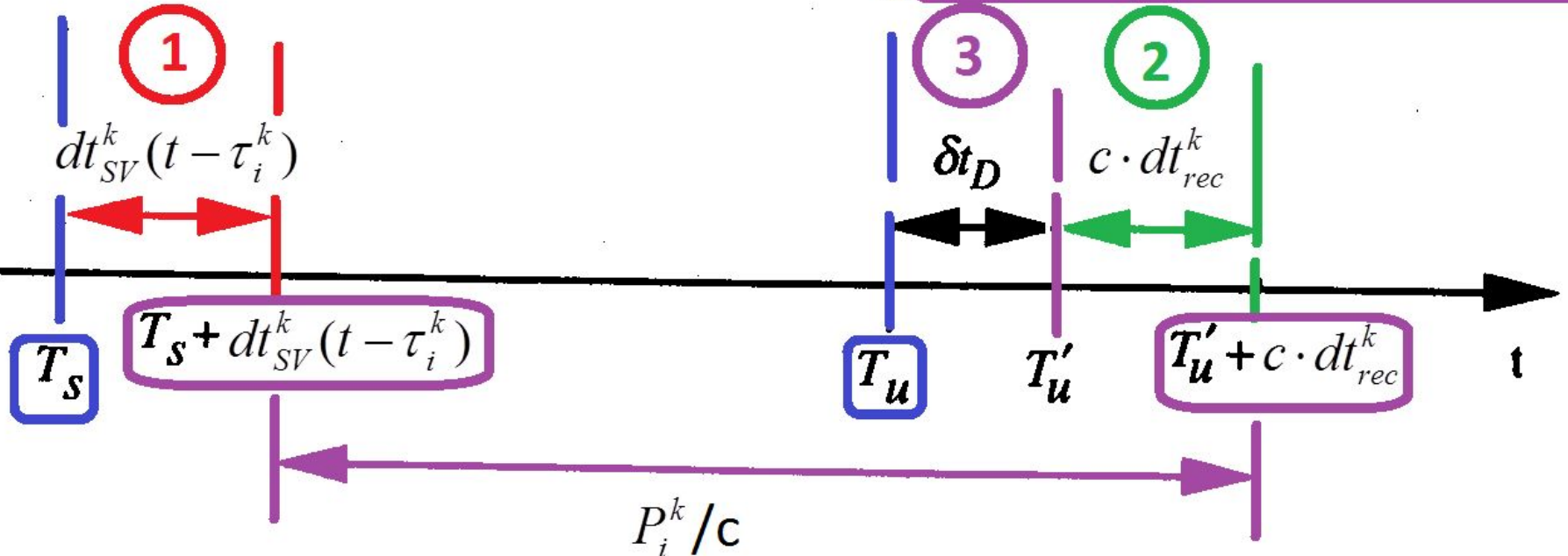


Шкалы времени и их согласование

Эквивалент геометрической дальности

$$\rho_i^k / c$$

$$\delta t_D = I_i^k + T_i^k + mP_i^k + c \cdot d_{rec}^k(t) + c \cdot dt^k(t - \tau_i^k) + \varepsilon^k$$



Эквивалент псевдодальности

$$P_i^k / c$$