

**Компенсация искажений сигналов при распространении по  
трансионосферным радиолиниям с использованием глобальных моделей  
земной ионосферы**  
РФФИ №20-07-00525

**Л.Е. Назаров  
В.В. Батанов**

**Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН  
АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева»**

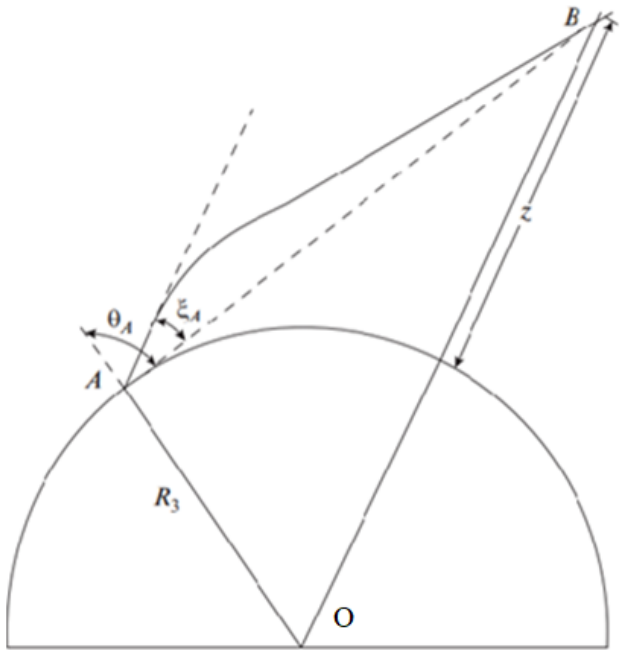
## ВВЕДЕНИЕ

**При распространении по трансионосферным радиоприямным огибающим сигналам искажаются за счет влияния земной ионосферы, как дисперсионной среды, что снижает надежность передачи информации по отношению к распространению в свободном пространстве.**

**Актуальными являются проблемы:**

- развития и обобщения соответствующих моделей искажений цифровых сигналов для оценивания вероятностных характеристик приема и анализа по отношению к распространению в свободном пространстве;**
- создания и исполнения методов обработки сигналов при приеме, снижающих искажающее действие рассматриваемых искажений.**

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ



$$\hat{s}(t) = \text{Re} \left( \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(f) \dot{H}(z, f) \exp(-j2\pi ft) df \right)$$

$$\dot{H}(z, f) = \exp(j2\pi f \tau(z, f))$$

$$\tau(z, f) = \int_0^z \frac{dx}{c_{\Phi}(x, f)}$$

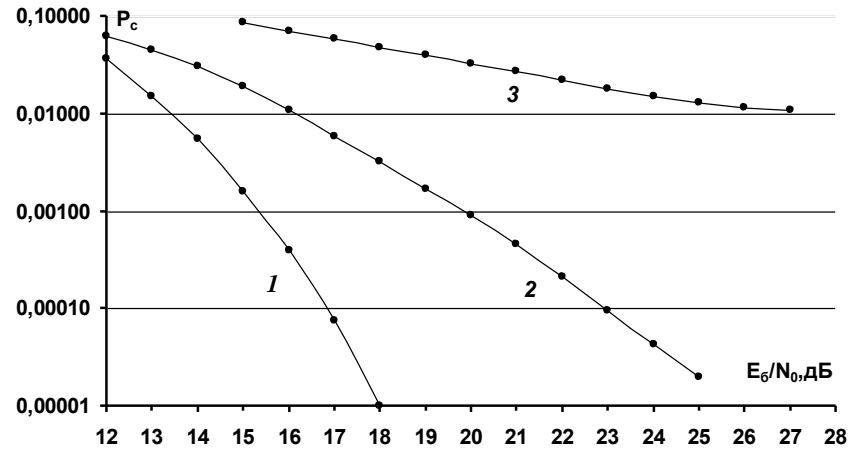
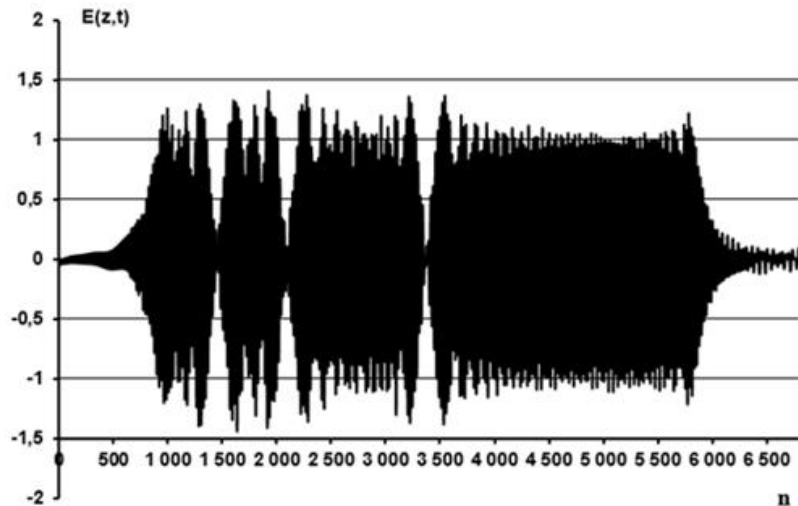
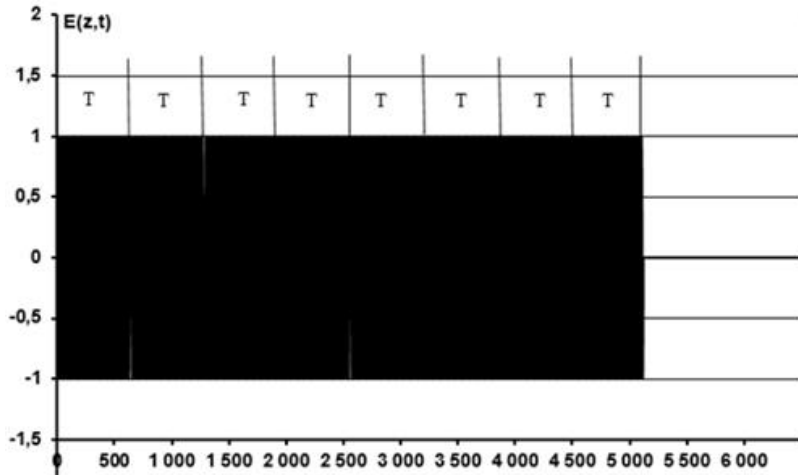
$$c_{\Phi}(x, f) = c/n(x, f)$$

$$\tau(z, f) = \frac{4.03 \cdot 10^7}{cf^2} \frac{(R_3 + z_M)}{\sqrt{(R_3 + z_M)^2 - (R_3 \sin \theta_A)^2}} \int_0^z N_{\ominus}(x) dx + L_{AB}/c$$

$$\alpha_{\text{ПЭС}} = \int_0^z N_{\ominus}(x) dx$$

Распространение сигналов по трансионосферной линии

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ



Вероятности ошибочного приема сигналов при распространении по трансионосферной линии

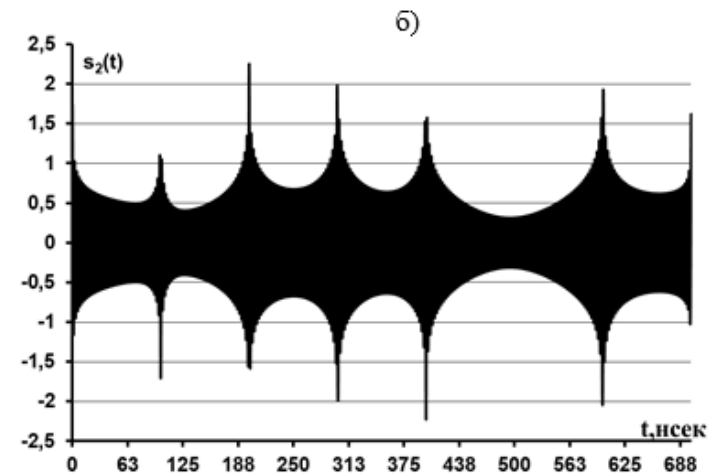
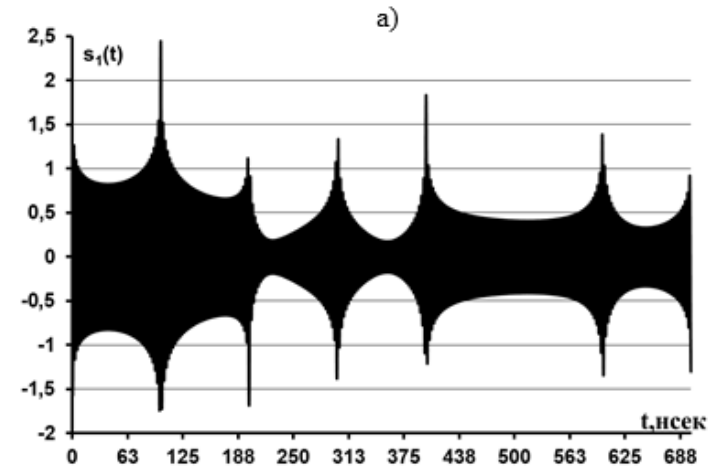
$$s_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} Y(f) H^{-1}(z, f) \exp(j2\pi f t) df$$

$$\alpha_{\text{ПЭС}} = \int_0^z N_{\text{э}}(x) dx$$

Цель - рассмотрение метода компенсации искажений комплексных огибающих цифровых сигналов путем формирования обратного фильтра на основе глобальной модели земной ионосферы Клобушара

## Применение пилот-сигналов

$$\hat{\alpha}_{\text{ПЭС}} = \frac{\Delta\tau(f_1, f_2)}{\frac{e^2}{2\pi m_e f^2} \frac{(R_3 + z_M)}{\sqrt{(R_3 + z_M)^2 - (R_3 \sin \theta_A)^2}} \left( \frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right)}$$



Вид пилот-сигналов

## ГЛОБАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМНОЙ ИОНОСФЕРЫ КЛОБУШАРА

Для решения рассматриваемой задачи предложено применить методику, которая основана на использовании глобальной одночастотной модели Клобушара земной ионосферы и разработана для повышения точности измерений навигационной системы GPS

Инициализация. Задаются входные данные:

- долгота  $\psi_{ПР}$  и широта  $\lambda_{ПР}$  приемной наземной станции;
- угол места  $E_{КА}$  и азимут  $A_{КА}$  космического аппарата GPS;
- время  $T_{GPS}$  (сек) в формате всемирного времени UT;
- коэффициенты  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  и  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ , передаваемые в альманахе навигационных сообщений либо по наземным линиям в формате REXIX.

$$\Delta\tau_{И} = F \left( 5 \cdot 10^{-9} + \sum_{n=0}^3 \alpha_n \psi_m^n (1 - x^2 / 2 + x^4 / 24) \right),$$

$$x = \frac{2\pi(t - 50400)}{\sum_{n=0}^3 \beta_n \psi_m^n}.$$

## ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ КЛОБУШАРА

Пример расчета временной задержки сигналов  $\Delta\tau_{\text{н}}$  и ПЭС: пространственные координаты приемной наземной станции и КА GPS  $\psi_{\text{ПР}} = 40^{\circ}$  с.ш.,  $\lambda_{\text{ПР}} = 100^{\circ}$  з.д.,  $E_{\text{КА}} = 20^{\circ}$ , азимут  $A_{\text{КА}} = 210^{\circ}$ . Параметры модели Клобушара  $\alpha_0 = 3.82 \times 10^{-8}$ ,  $\alpha_1 = 1.49 \times 10^{-8}$ ,  $\alpha_2 = -1.79 \times 10^{-7}$ ,  $\alpha_3 = 0$ ,  $\beta_0 = 1.43 \times 10^5$ ,  $\beta_1 = 0$ ,  $\beta_2 = -3.28 \times 10^5$ ,  $\beta_3 = 1.13 \times 10^5$ .

$\Delta\tau_{\text{н}}$  достигает 77.6 нс, значение  $\alpha_{\text{ПЭС}} = 6.48 \times 10^{13}$  эл/см<sup>2</sup>.

- значения ПЭС, соответствуют высоте 20000 км;
- значения ПЭС, соответствуют орбитальному движению КА GPS;
- характеристики ПЭС представляют случайный процесс, время стационарности радиолинии 1-2 сек.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Искажения сигналов за счет дисперсионных свойств земной ионосферы обуславливают возникновение интерференционных помех. Суть методов обработки цифровых сигналов при приеме, снижающих влияние интерференционных помех, заключается в формировании обратного линейного фильтра.

Представлен метод формирования обратного фильтра с использованием глобальной модели земной ионосферы Клобушара, разработанной и интенсивно используемой в спутниковой навигационной системе GPS для повышения точности навигационных измерений.

Определены ограничения при применении модели Клобушара, обусловленные ограниченностью пространственной орбитальной группировки системы GPS, а также временной нестационарностью трансionoсферных радиолоний.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**