

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАНАЛОВ УТЕЧКИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ДИСКРЕТНО-КВАНТОВАННОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ

**М.М.БАРАНОВСКИЙ, А.Г.ФИЛИППОВИЧ** (Оперативно-аналитический центр при Президенте Республики Беларусь)

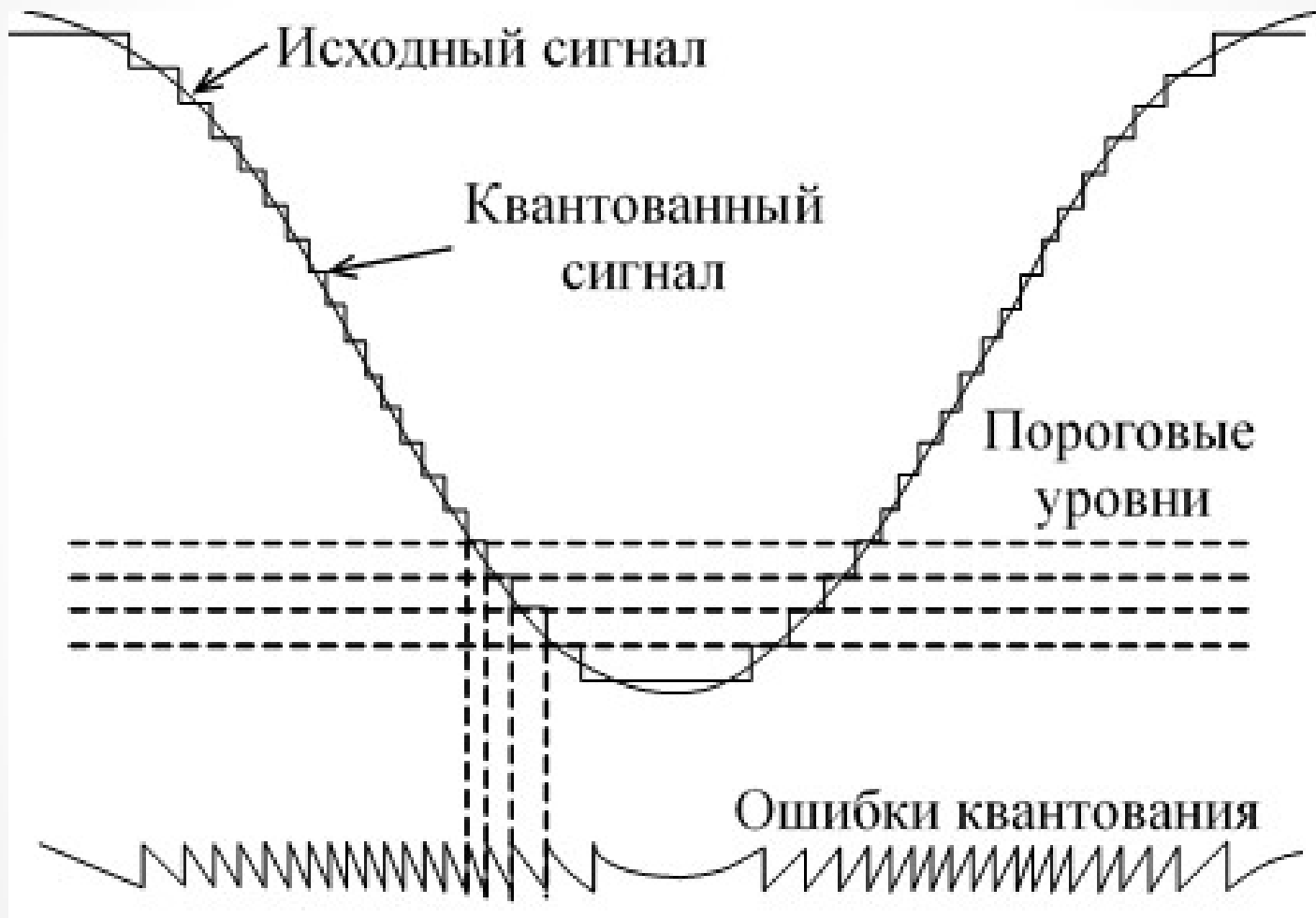
**В.К.ЖЕЛЕЗНЯК, С.В.ЛАВРОВ** ( Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»)

# ВВЕДЕНИЕ

Высококачественная высокоскоростная передача по широкополосным каналам аналоговых речевых сигналов дискретно-квантованным представлением обуславливает их различные преобразования, из которых важнейшим является амплитудно-импульсная модуляция. Амплитудно-импульсная модуляция формируется воздействием на периодическую импульсную последовательность в диапазоне частот от 44,1 до 192 кГц прошедшего через АЦП аналогового речевого сигнала.

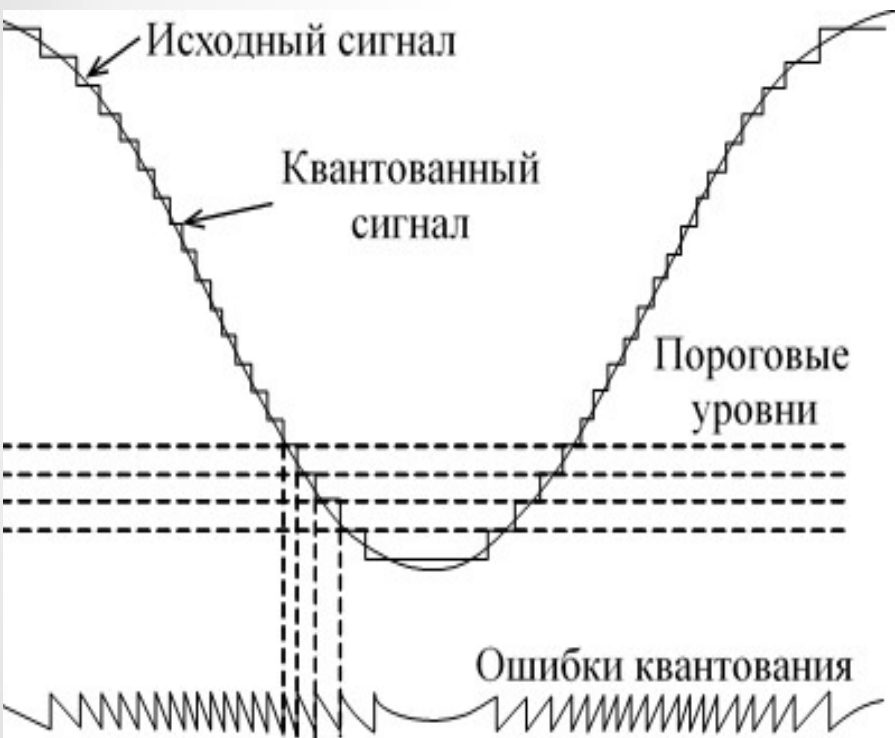
**Цель работы:** исследование КУИ, обусловленного преобразованием информационного сигнала на принципах амплитудно-импульсной модуляции при высокоскоростной и высококачественной передаче речевых сигналов преобразованных в цифровую форму.

# ПРИНЦИП АМПЛИТУДНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

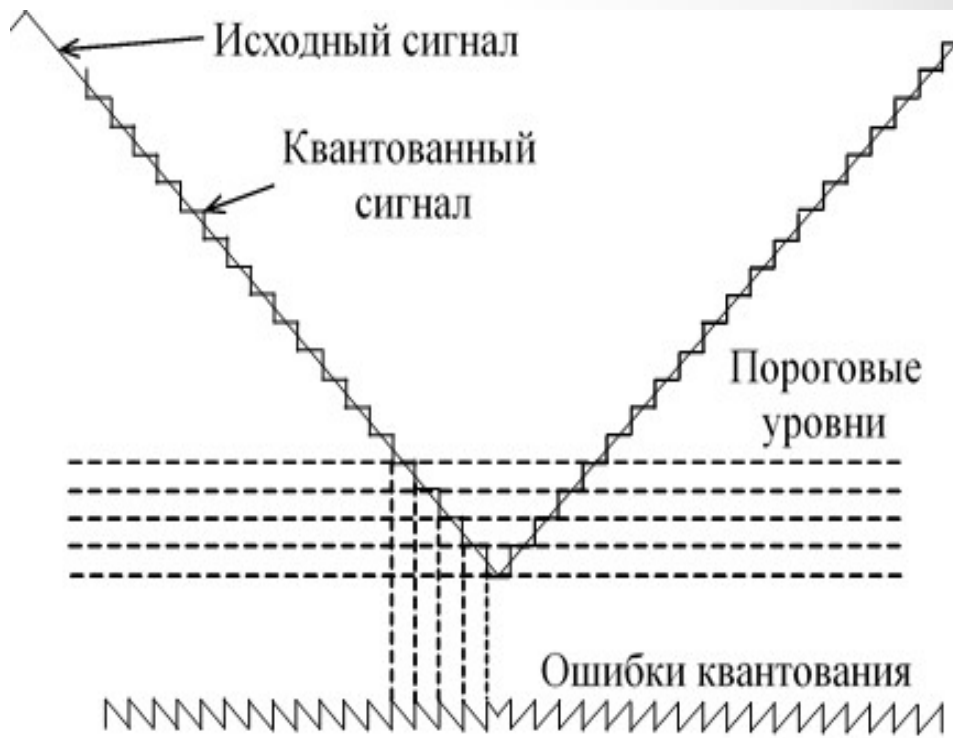


# ВЫБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА

КОСИНУСОИДАЛЬНЫЙ



треугольный



Разложение периодической импульсной последовательности треугольной формы в ряд Фурье:

$$f(t) = \frac{8A}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{\frac{k-1}{2}} \frac{\sin k\omega t}{k^2} \quad (1)$$

где  $A$  – амплитуда сигнала;

$k$  – номер гармоники ( $k=1,3,5,\dots$ );

$\omega = \frac{2\pi}{T_{\Pi}}$  – угловая частота сигнала;

$T_{\Pi}$  – период сигнала.

## Модулирующий сигнал:

$$c(t) = C_{\max} \sin \omega_c t \quad (2)$$

## Амплитудно-модулированный сигнал:

$$s(t) = [1 + m_a c(t)] f(t) \quad (3)$$

где  $f(t)$  – ПППИ;

$m_a$  – коэффициент амплитудной модуляции:

$$m_a = \frac{C_{\max}}{A} \quad (4)$$

где  $A$  – амплитуда ПППИ.

# Периодическая последовательность прямоугольных импульсов:

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sigma(t - kT_{\text{д}}) \quad (5)$$

где  $\sigma(t)$  – функция, описывающая одиночный импульс последовательности  $f(t)$ :

$$\sigma(t) = \begin{cases} A \text{ при } -\frac{\tau_{\text{и}}}{2} \leq t \leq \frac{\tau_{\text{и}}}{2}, \\ 0 \text{ при } t < -\frac{\tau_{\text{и}}}{2}, t > \frac{\tau_{\text{и}}}{2}. \end{cases} \quad (6)$$

## Представление ПППИ рядом Фурье:

$$f(t) = A \left[ \frac{\tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi\tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} \cos 2\pi n F_{\text{д}} t \right] \quad (7)$$

где  $F_{\text{д}} = \frac{1}{T_{\text{д}}}$  – частота дискретизации;

$A \frac{\tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}}$  – постоянная составляющая;

$\frac{2A}{\pi n} \sin \frac{n\pi\tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} \cos 2\pi n F_{\text{д}} t$  – гармоники частоты дискретизации.



## Спектр амплитудно-импульсного модулированного сигнала:

$$s(t) = \frac{A\tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} + \frac{m_a A\tau_{\text{и}} \sin \omega_c t}{T_{\text{д}}} + \frac{2A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi\tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} \cos 2\pi n F_{\text{д}} t +$$
$$+ \frac{m_a A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi\tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} \sin (2\pi n F_{\text{д}} \pm \omega_c) t. \quad (8)$$

## Составляющие спектра АИМ сигнал:

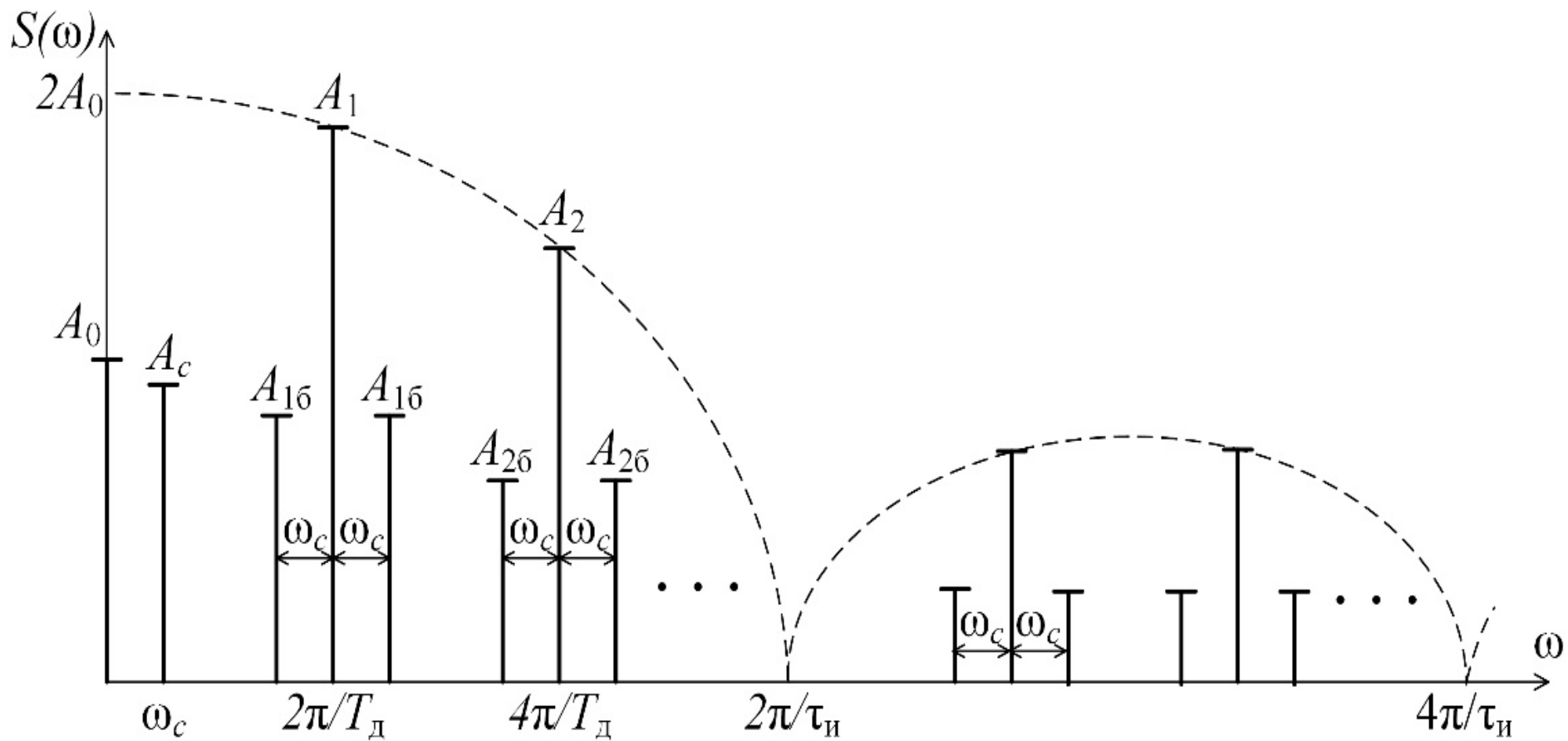
$$A_0 = \frac{A\tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} - \text{постоянная составляющая}$$

$$A_c = \frac{m_a A\tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} \sin \omega_c t - \text{исходный модулирующий сигнал}$$

$$A_n = \frac{2A}{\pi n} \sin \frac{n\pi\tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} \cos 2\pi n F_{\text{д}} t - \text{гармоники частоты дискр-и}$$

$$A_{n\text{б}} = \frac{m_a A}{\pi n} \sin \frac{n\pi\tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} \sin (2\pi n F_{\text{д}} \pm \omega_c) t - \text{боковые составляющие}$$

# Спектр амплитудно-импульсного модулированного сигнал:



## Определение коэффициента амплитудной модуляции:

$$\frac{A_c}{A_0} = \frac{\frac{m_a A \tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}} \sin \omega_c t}{\frac{A \tau_{\text{и}}}{T_{\text{д}}}} = m_a \sin \omega_c t \quad (9)$$

Оценка защищенности канала утечки речевого сигнала при амплитудно-импульсной модуляции по низкочастотной составляющей модулирующего сигнала:

1. По полученным значениям параметра измерительного сигнала в точке наблюдения и параметра шума в той же точке наблюдения определяют отношение сигнал/шум.

2. Определяют отношение нормированных параметров сигнала и шума в канале утечки речевого сигнала.

3. Сравнивают отношение сигнал/шум, полученные в процессе оценки в точке наблюдения с нормированным отношением сигнал/шум. Если отношение сигнал/шум нормированных параметров больше отношения измеренных параметров, то принимают решение о защищенности, т.е. отсутствии канала утечки речевой информации. В противном случае – о наличии канала утечки речевого сигнала.

# ЛИТЕРАТУРА

1. Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н. *Основы построения телекоммуникационных систем и сетей*. Москва: Горячая линия – Телеком; 2018.
  2. Бузов Г.А. *Защита информации ограниченного доступа от утечки по техническим каналам*. Москва: Горячая линия – Телеком; 2015.
  3. Железняк В.К. *Защита информации от утечки по техническим каналам*. Санкт-Петербург: ГУАП; 2006.
  4. Железняк В.К., Лавров С.В., Барановский М.М., Филиппович А.Г. Способ оценки защищенности преобразованного в цифровую форму речевого сигнала в каналах утечки информации. *Комплексная защита информации: материалы XXIV научно-практической конференции*. 2019; 53-59.
  5. Сергиенко А.Б. *Цифровая обработка сигналов*. Санкт-Петербург: Питер; 2005.
  6. Островский Л.А. *Основы общей теории электроизмерительных устройств*. Ленинград: Энергия; 1965.
- Кэтермоул К.В. *Принципы импульсно-кодовой модуляции*. Москва: Связь; 1974.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**