

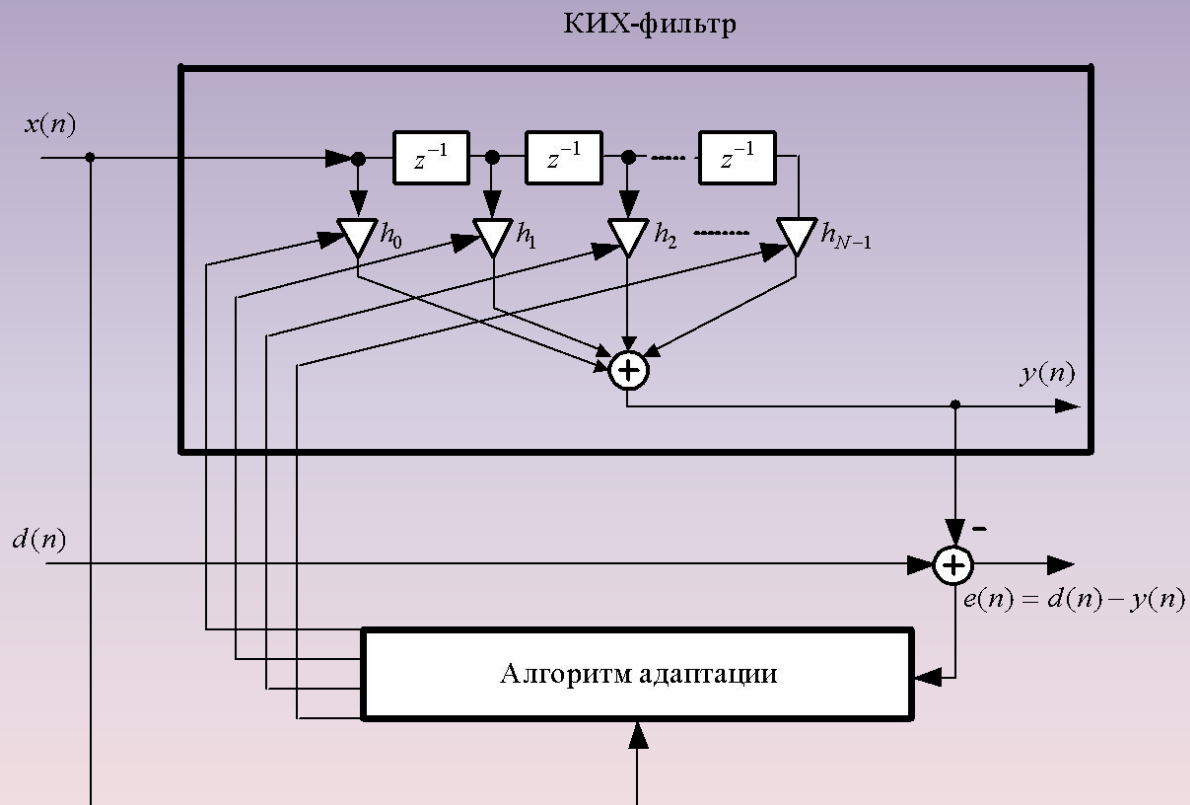


«Методы и алгоритмы  
цифровой обработки сигналов  
на базе MATLAB»

*Адаптивные фильтры.  
Практическое  
применение (3)*

Клионский Д.М. – к.т.н., доцент кафедры  
математического обеспечения и применения ЭВМ (МОЭВМ)

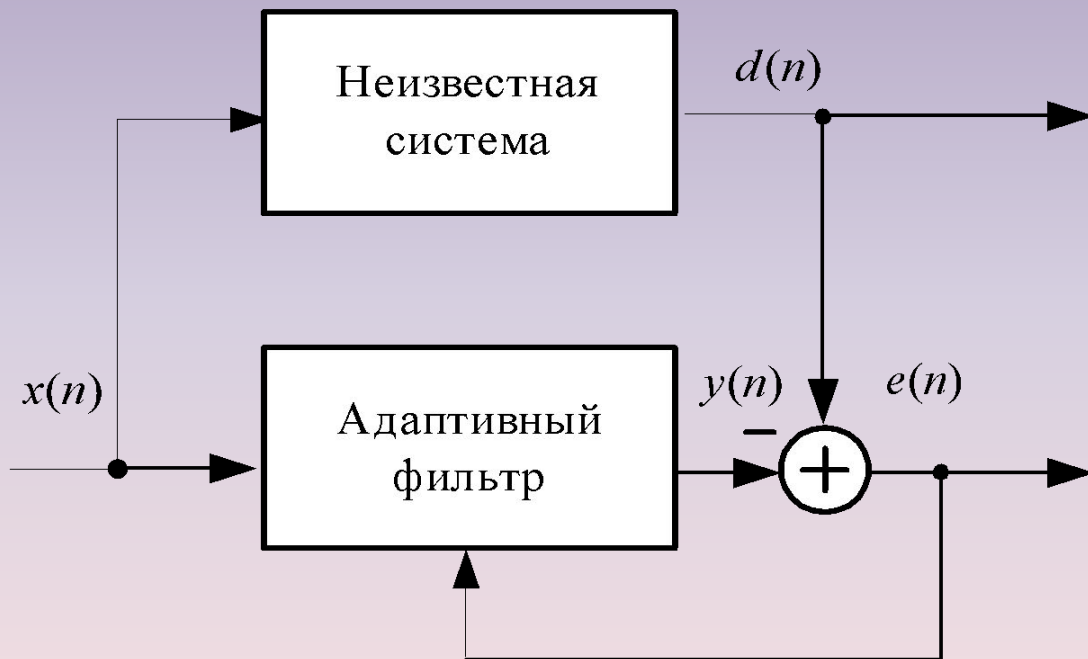
# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЛИНЕЙНОГО ДФ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ



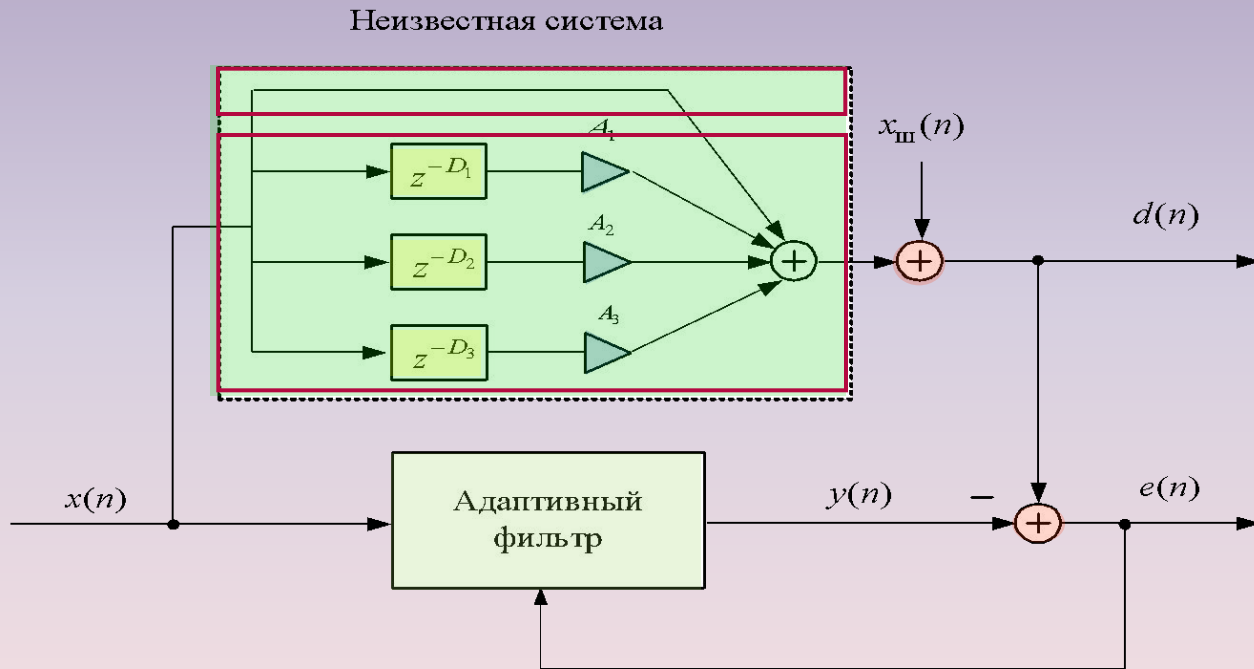
## ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 1) **изучить метод идентификации** многолучевого канала связи при распространении сигнала от источника к приемнику по нескольким трактам с использованием структуры *прямой идентификации*;
- 2) **выполнить компьютерное моделирование** метода идентификации многолучевого канала связи с использованием программных средств MATLAB;
- 3) **получить оценку импульсной характеристики** многолучевого канала связи.

## Схема прямой идентификации



## Схема прямой идентификации



# ТИПОВЫЕ СИГНАЛЫ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОЛУЧЕВОГО КАНАЛА СВЯЗИ 6

- 1)  $x(n)$  – входной сигнал АФ и неизвестной системы;
- 2)  $x_{ш}(n)$  – шум среды распространения;
- 3)  $d(n)$  – смесь шума и выходного сигнала неизвестной системы;
- 4)  $y(n)$  – выходной сигнал АФ;
- 5)  $e(n)$  – сигнал ошибки АФ.

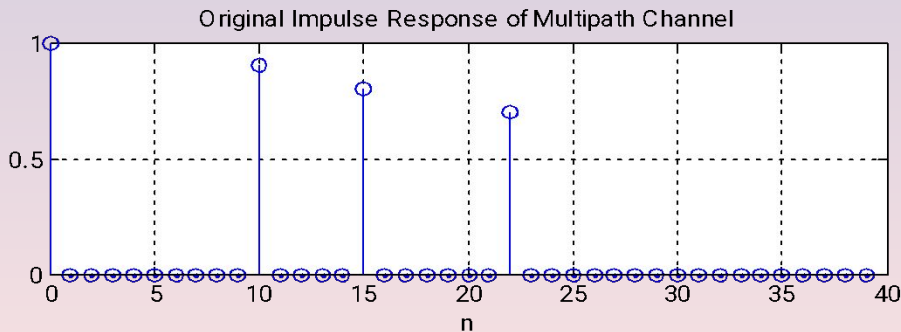
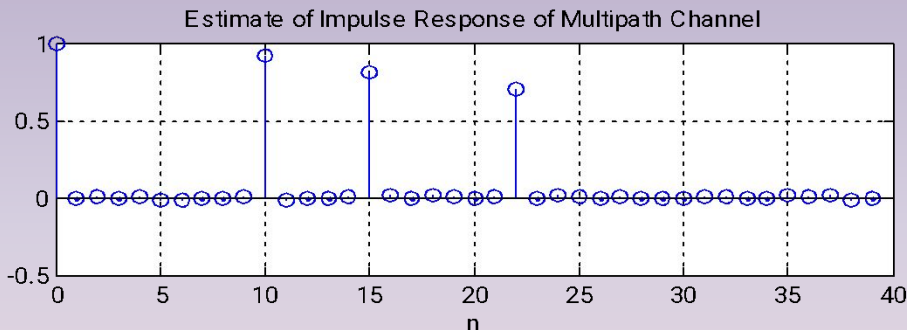


# АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОЛУЧЕВОГО КАНАЛА СВЯЗИ

7

- 1) Моделирование входного сигнала неизвестной системы – входного сигнала АФ  $x(n)$ . Использовалась модель сигнала в виде случайной последовательности чередующихся символов **+1** и **-1**;
- 2) Вычисление образцового сигнала АФ (сумма выходного сигнала неизвестной системы и шума среды распространения:  $d(n)$ ). Использовалась **4-лучевая** модель канала. Шум среды распространения – НБШ с  $m=0$ ;
- 3) Вычисление истинной импульсной характеристики неизвестной системы  $h(n)$ ;
- 4) Моделирование структуры АФ – объекта **adaptfilt**;
- 5) Моделирование адаптивной фильтрации: вычисление  $y(n)$  и  $e(n)$ ;
- 6) Определение параметров АФ – оценки импульсной характеристики  $h(n)$ ;
- 7) Сравнение истинной импульсной характеристики  $h(n)$  и ее оценки по критерию среднего абсолютного отклонения (**MAE – Mean Absolute Error**).

**Delay\_ray1 = 10; Delay\_ray2 = 15; Delay\_ray3 = 22; A1 = 0.9; A2 = 0.8; A3 = 0.7; sigma = 1; Fs = 4000 Гц; L = 10000; N = 40**



**MAE = 0.00665**



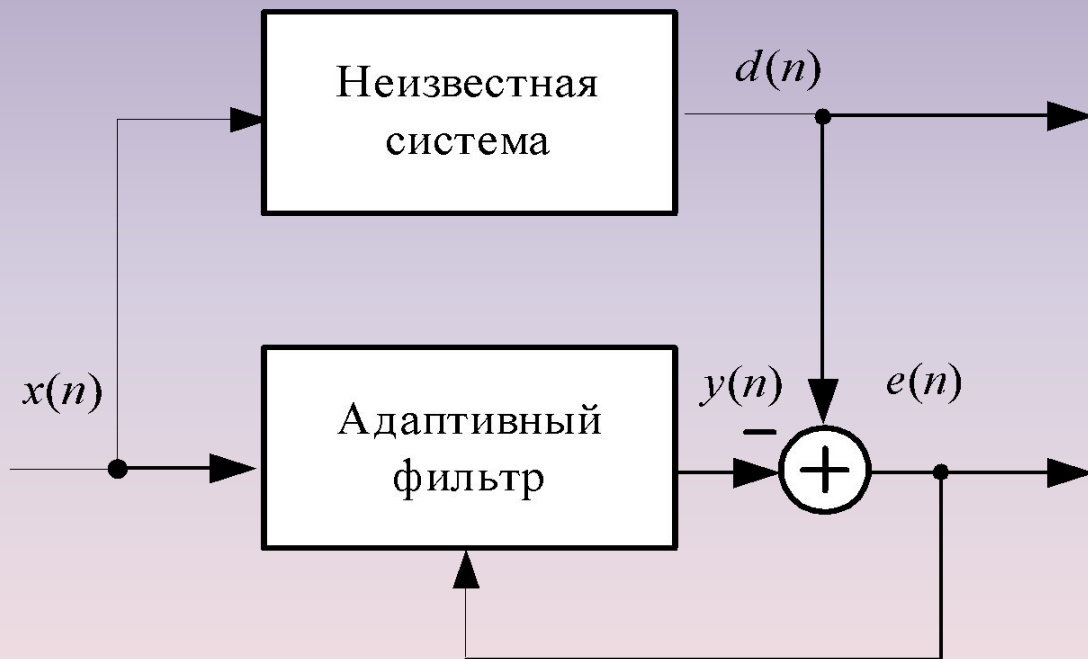
# ПОДАВЛЕНИЕ УЗКОПОЛОСНОЙ ПОМЕХИ В ШИРОКОПОЛОСНОМ СИГНАЛЕ

9

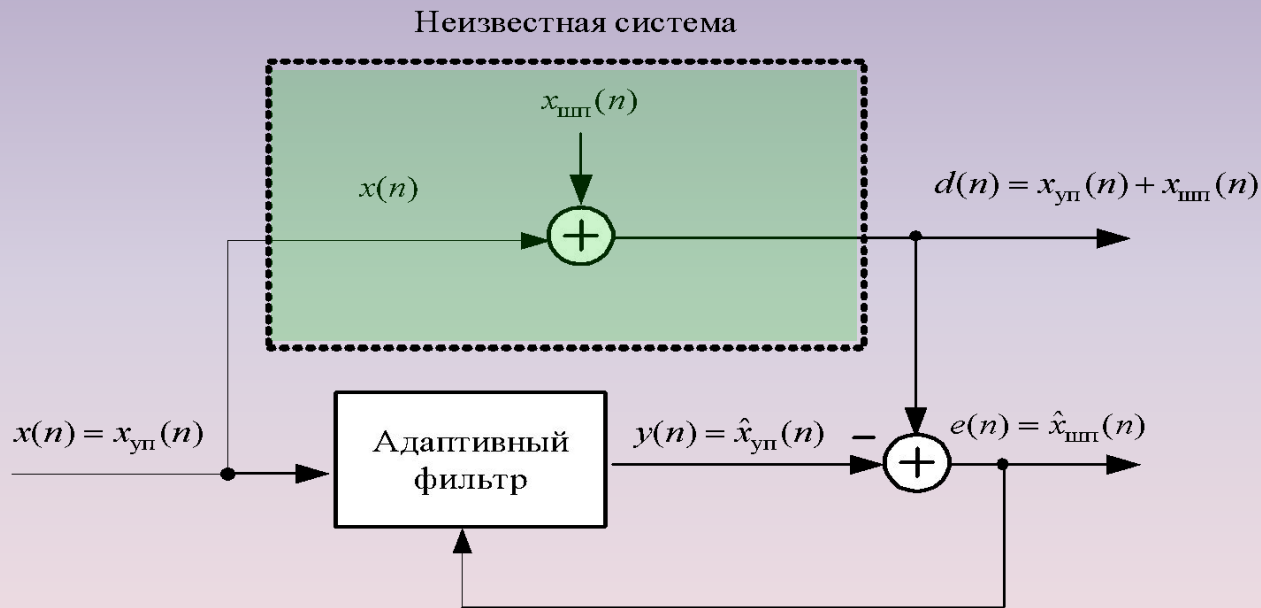
## Цель исследования:

- 1) изучить метод подавления узкополосной помехи (УП-помехи) в широкополосном сигнале (ШП-сигнале) на основе адаптивной фильтрации с использованием структуры *прямой идентификации*.
- 2) выполнить компьютерное моделирование метода подавления **УП-помехи в ШП-сигнале** в среде MATLAB;
- 3) исследовать **качество подавления** УП-помехи на основе выбранных критериев;
- 4) выполнить компьютерное моделирование **подавления УП-помехи в ШП-сигнале** в MATLAB при различных моделях сигналов.

## Схема прямой идентификации



## Схема прямой идентификации



- 1)  $x(n)$  – входной сигнал АФ и неизвестной системы;
- 2)  $x_{yn}(n)$  – узкополосный сигнал;  $x_{unp}(n)$  – широкополосный сигнал;  $d(n)$  – смесь УП (узкополосного) и ШП (широкополосного) сигналов;
- 3)  $y(n)$  – выходной сигнал АФ (оценка узкополосного сигнала);
- 4)  $e(n)$  – сигнал ошибки АФ (оценка широкополосного сигнала).

# АЛГОРИТМ ПОДАВЛЕНИЯ УП-ПОМЕХИ В ШП-СИГНАЛЕ (1)

13

- 1) Моделирование входного сигнала неизвестной системы (узкополосного сигнала, например, в виде гармонического сигнала из 2-х или 3-х гармоник)  $x(n) = x_{УП}(n)$ ;
- 2) Моделирование широкополосного сигнала  $x_{ШП}(n)$  (например, в виде **нормального белого шума или ДЧМ-сигнала**);
- 3) Вычисление образцового сигнала АФ (сумма узкополосного и широкополосного сигналов):  $d(n) = x_{УП}(n) + x_{ШП}(n)$ ;
- 4) Моделирование структуры АФ с КИХ-фильтром (на основе объекта АФ);
- 5) Моделирование адаптивной фильтрации: вычисление  $y(n) \approx x_{УП}(n)$  и  $e(n) \approx x_{ШП}(n)$ ;
- 6) Сравнение сигналов  $x_{УП}(n)$  и  $y(n) \approx x_{УП}(n)$  по среднеквадратическому критерию (**RMSE – Root Mean Squared Error**);
- 7) Вычисление оценок математического ожидания и дисперсии нормального белого шума  $e(n) \approx x_{ШП}(n)$ .

# АЛГОРИТМ ПОДАВЛЕНИЯ УП-ПОМЕХИ В ШП-СИГНАЛЕ (2)

14

## Вывод графиков в MATLAB:

- 1) АКФ УП-помехи  $R_{УП}(m)$  и ШП-сигнала  $R_{ШП}(m)$ ;
- 2) Входной сигнал АФ  $x(n) = x_{УП}(n)$  и его ДПФ;
- 3) Образцовый сигнал  $d(n)$  и его ДПФ;
- 4) Выходной сигнал АФ  $y(n) \approx x_{УП}(n)$  и его ДПФ;
- 5) Оценки АКФ УП-помехи  $R_{УП}(m)$  и ШП-сигнала  $R_{ШП}(m)$ .

## Используемые критерии:

RMSE: 
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{n=0}^{L-1} |x_2(n) - \hat{x}_2(n)|^2} = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{n=0}^{L-1} |x_2(n) - e(n)|^2}$$

# ЭКСПЕРИМЕНТ

$$x_{\text{УП}}(n) = A_1 \cos\left(\frac{2\pi f_1}{f_d} n\right) + A_2 \cos\left(\frac{2\pi f_2}{f_d} n\right) + A_3 \cos\left(\frac{2\pi f_3}{f_d} n\right)$$

$$f_d = 4000 \quad L = 10000 \text{ сигнала}$$

$$f_1 = 100 \quad f_2 = 20 \text{ Гц}; \quad f_3 = 40 \text{ Гц} \quad \text{частоты гармоник}$$

$$A_1 = 1, A_2 = 0,5, A_3 = 0,8 \text{ амплитуды гармоник}$$

$\sigma = 1$  среднеквадратическое отклонение белого шума

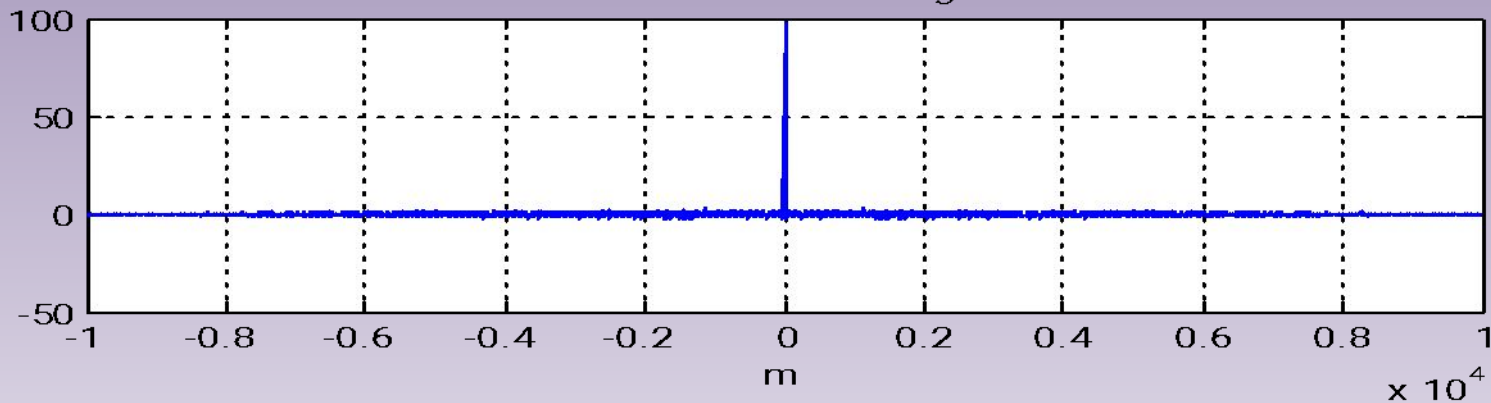
$N = 10$  рядок КИХ-фильтра в составе АФ

$\sigma = 10$  уровень шума

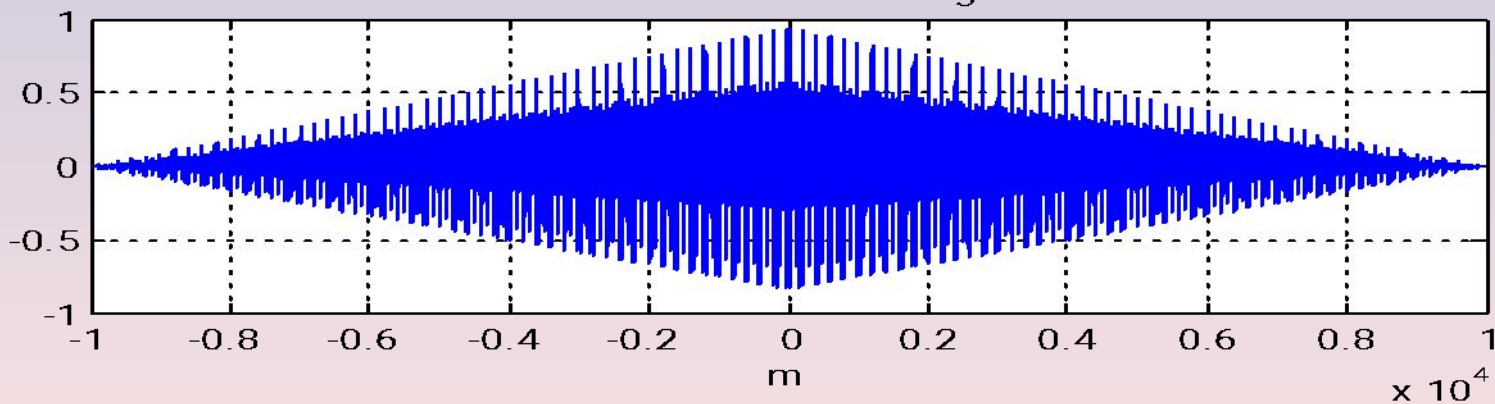


# АКФ УП-ПОМЕХИ И ШИ-СИГНАЛА

ACF of Wideband Signal



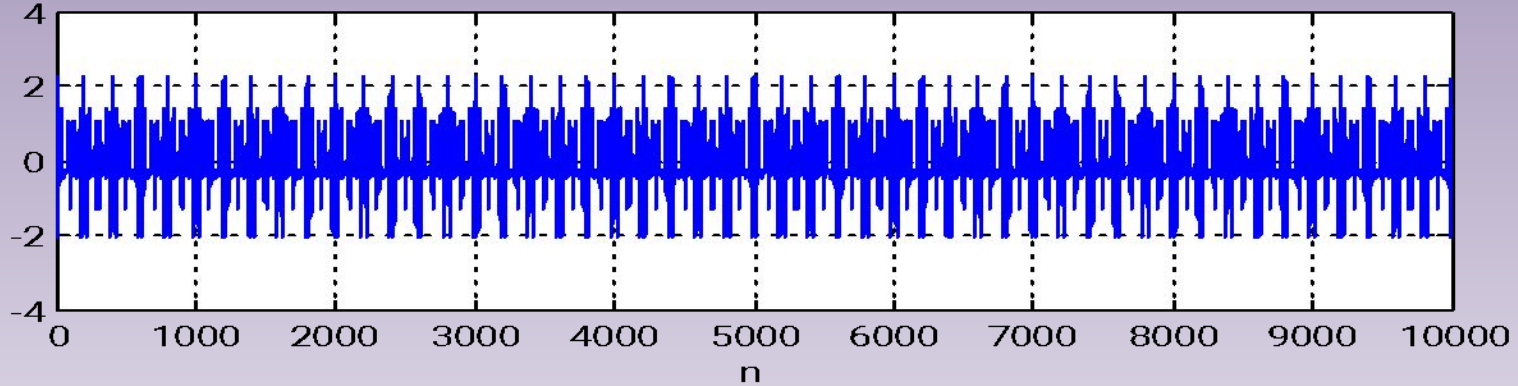
ACF of Narrowband Signal



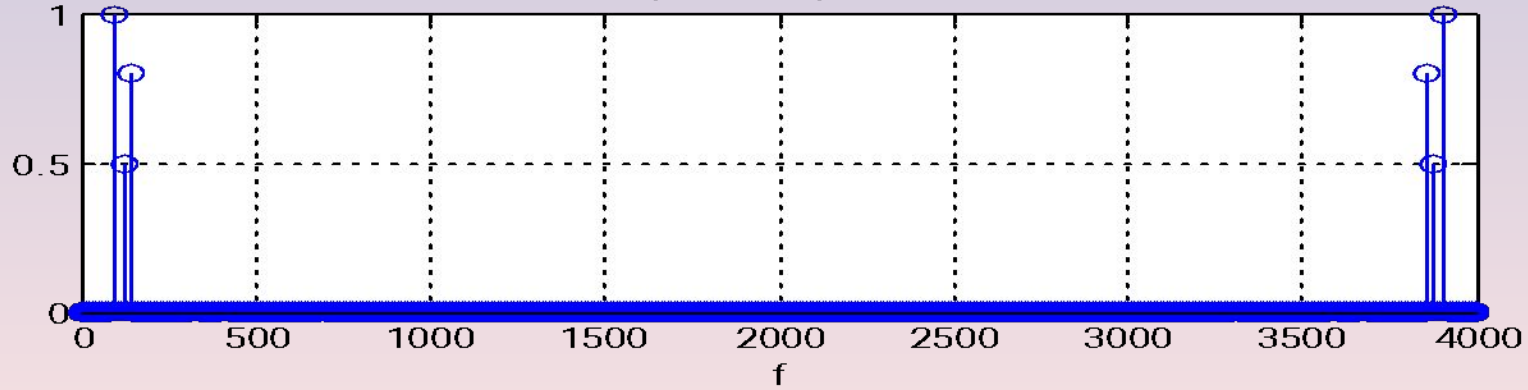


# ВХОДНОЙ СИГНАЛ АФ И ЕГО ДПФ

Input Signal of AF

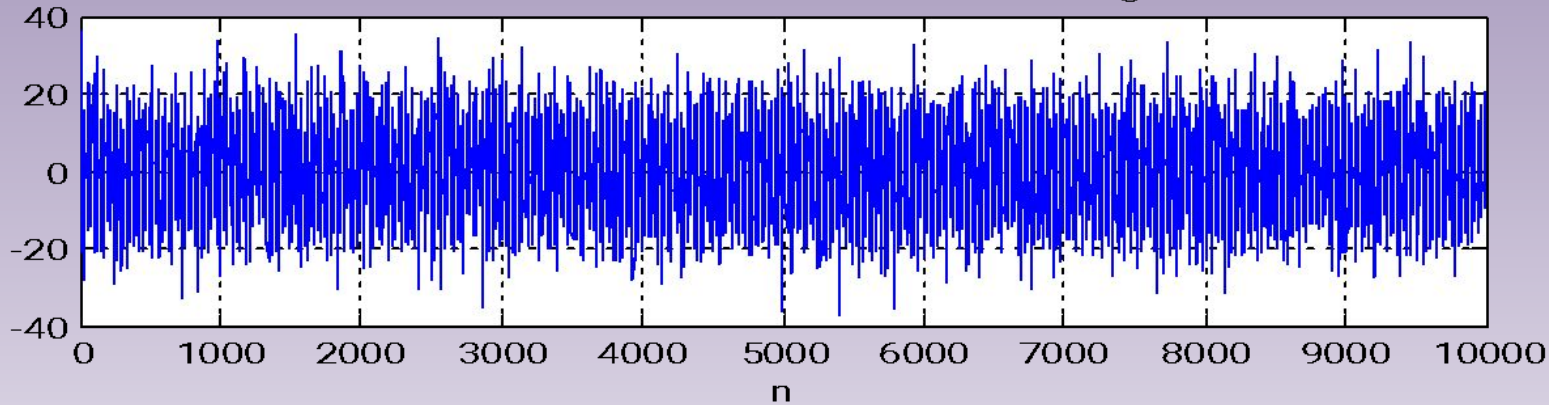


Amplitude Spectrum

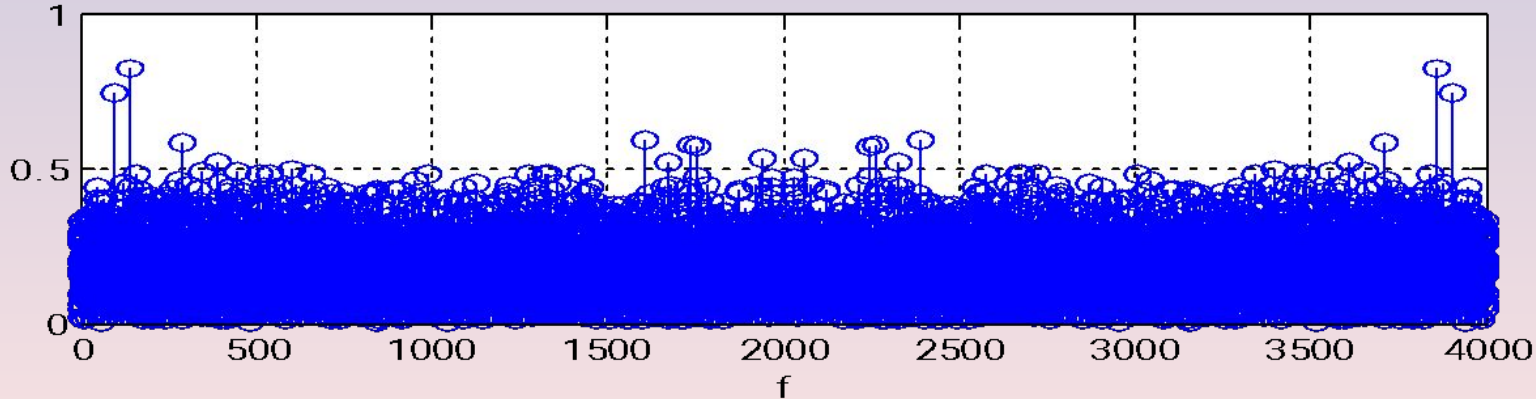


# СМЕСЬ УШ-СИГНАЛА И ШП-СИГНАЛА (ОБРАЗЦОВЫЙ СИГНАЛ)

Mixture of Wideband and Narrowband Signal

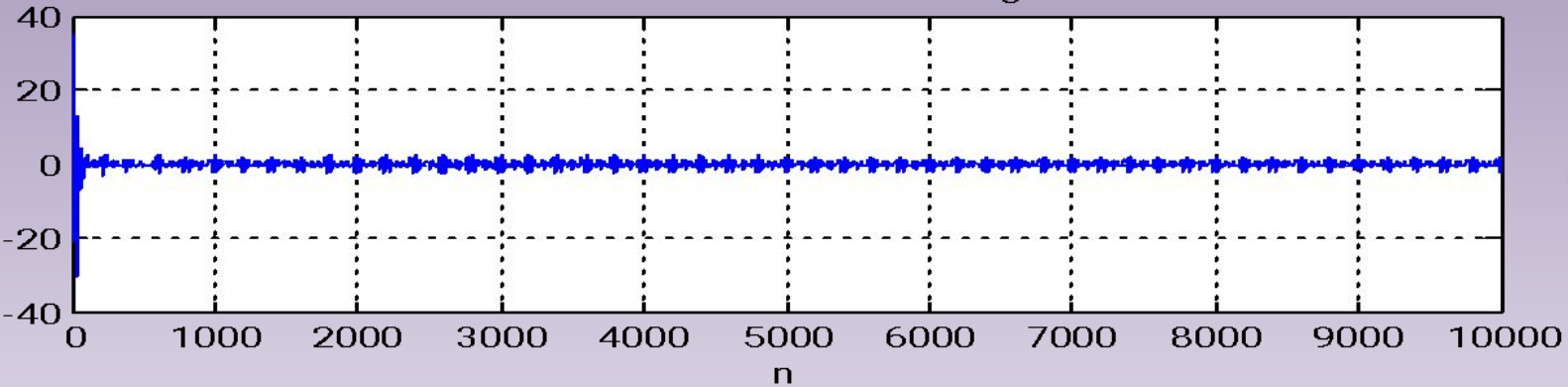


Amplitude Spectrum

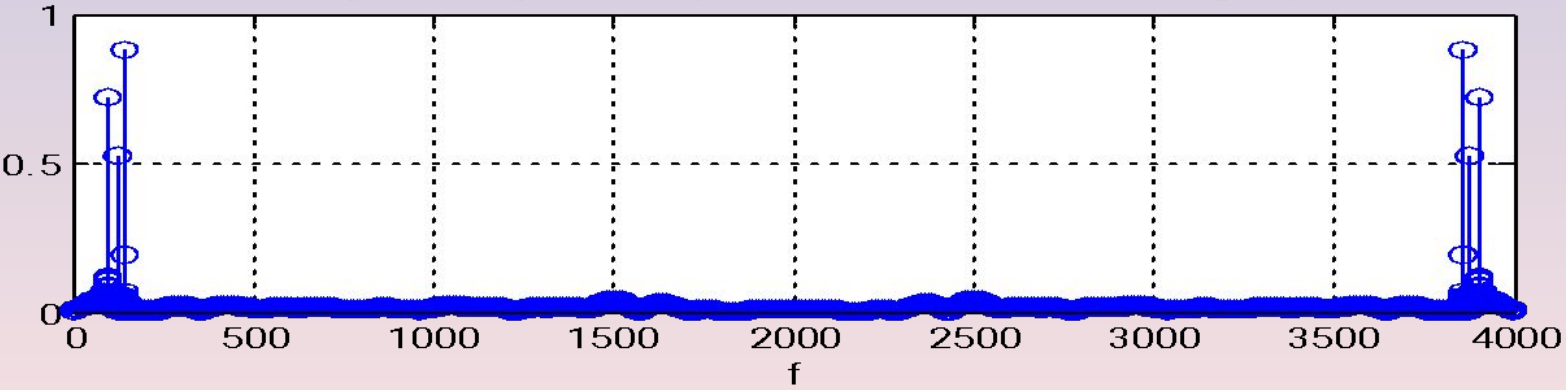


# ОЦЕНКА УП-ПОМЕХИ И БИДДФ

Estimate of Narrowband Signal



Amplitude Spectrum (Estimate of Narrowband Signal)





«Методы и алгоритмы  
цифровой обработки сигналов  
на базе MATLAB»

*Адаптивные фильтры.  
Практическое  
применение (3)*

Клионский Д.М. – к.т.н., доцент кафедры  
математического обеспечения и применения ЭВМ (МОЭВМ)