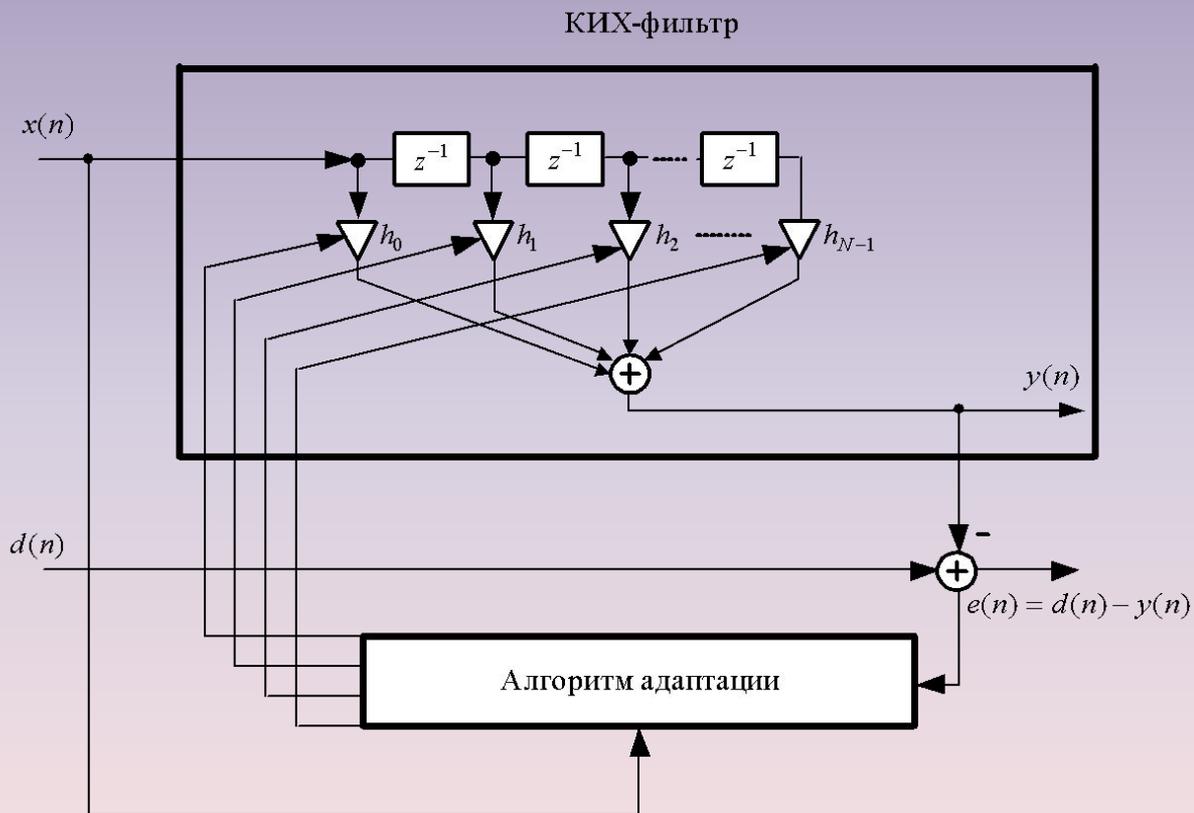


«Методы и алгоритмы
цифровой обработки сигналов
на базе MATLAB»

*Адаптивные фильтры.
Практическое
применение (2)*

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

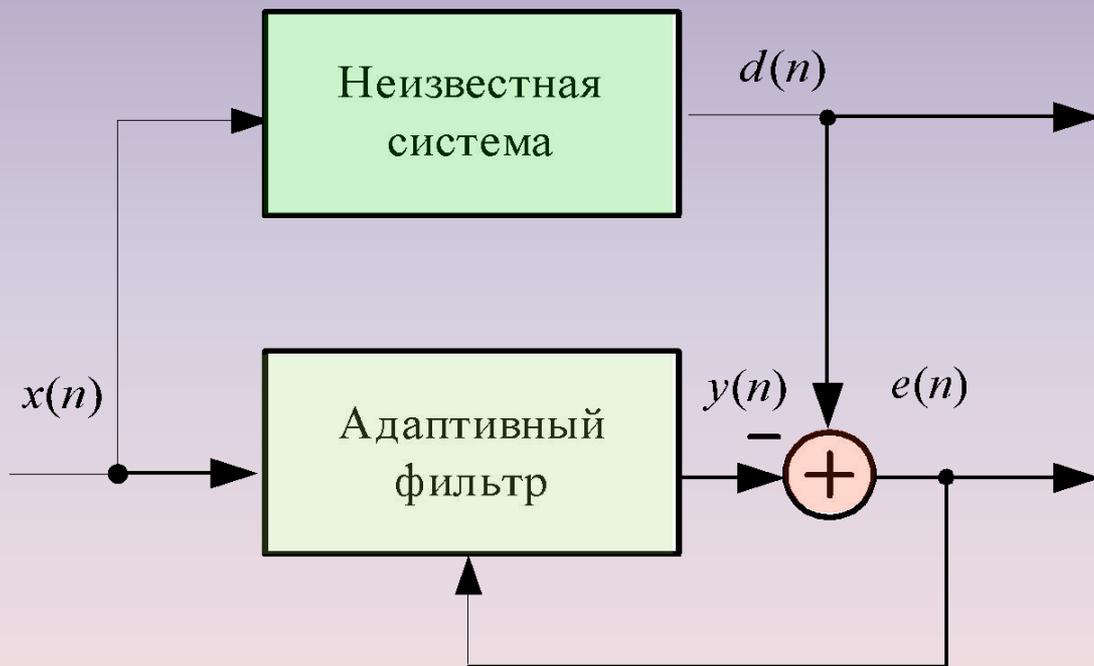
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЛИНЕЙНОГО ДФ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ



ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

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

Схема прямой идентификации



ПРЯМАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА ОСНОВЕ АФ. ТИПОВЫЕ СИГНАЛЫ

5

- 1) $x(n)$ – входной сигнал АФ (входной сигнал неизвестной системы);
- 2) $d(n)$ – образцовый сигнал АФ (выходной сигнал неизвестной системы);
- 3) $y(n)$ – выходной сигнал АФ;
- 4) $e(n)$ – сигнал ошибки АФ (разность между образцовым сигналом и выходным сигналом АФ).

Схема прямой идентификации

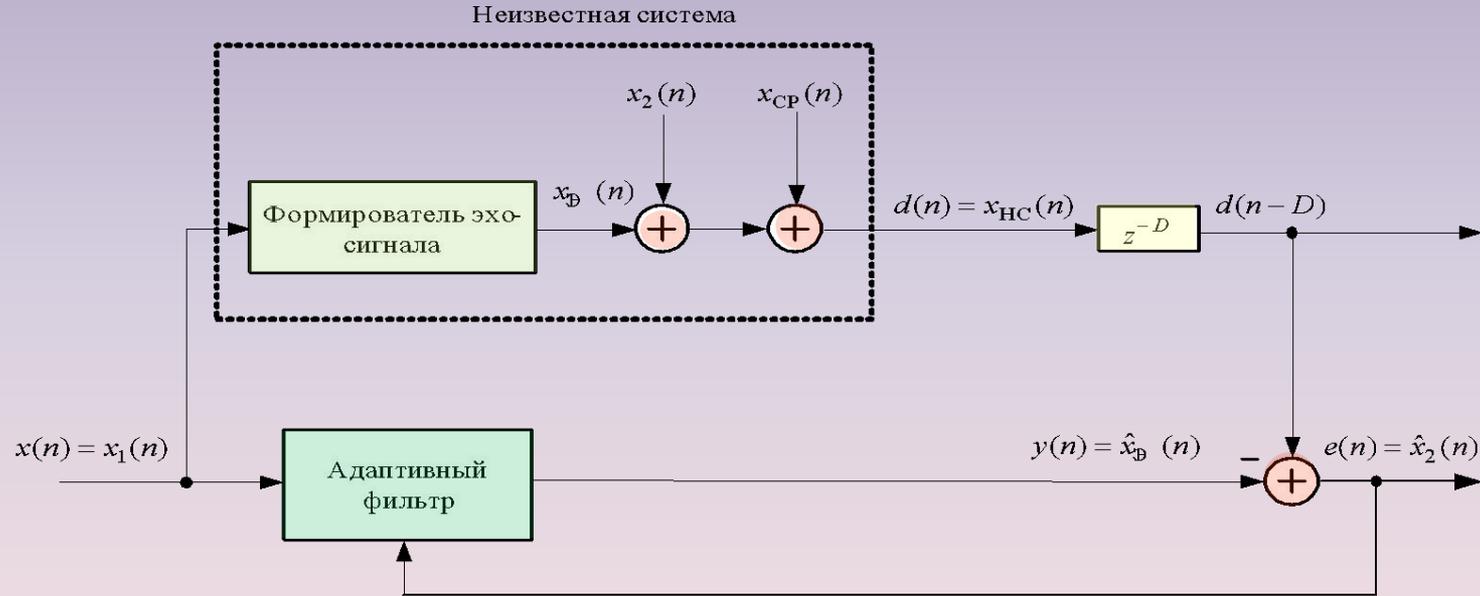


СХЕМА ПРЯМОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРИ ЭХОПОДАВЛЕНИИ. ТИПОВЫЕ СИГНАЛЫ

7

- 1) $x_1(n), x_2(n)$ – сигналы 1-го и 2-го источников;
- 2) $x_{1Э}(n)$ – эхо-сигнал 1-го источника; $x_{CP}(n)$ – шум среды распространения;
- 3) $y(n)$ – выходной сигнал АФ (оценка эхо-сигнала 1-го источника);
- 4) $e(n)$ – сигнал ошибки АФ (оценка сигнала 2-го источника).

АЛГОРИТМ ЭХОПОДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АФ (1)

- 1) Моделирование входного сигнала неизвестной системы (сигнала 1-го источника) $x(n) = x_1(n)$;
- 2) Моделирование формирователя эхо-сигнала (например, в виде **КИХ-фильтра ФНЧ** или **КИХ-фильтра ПФ**);
- 3) Моделирование сигнала 2-го источника $x_2(n)$;
- 4) Моделирование шума среды распространения $x_{CP}(n)$ (например, в виде **нормального белого шума с заданным СКО**);
- 5) Вычисление реакции неизвестной системы (образцового сигнала АФ)
в виде суммы: $d(n) = x_{1Э}(n) + x_2(n) + x_{CP}(n)$;
- 6) Моделирование задержанного образцового сигнала $d(n-D)$;
- 7) Моделирование структуры АФ с КИХ-фильтром (на основе объекта АФ);
- 8) Моделирование адаптивной фильтрации: вычисление $y(n) \approx x_{1Э}(n)$ и $e(n) \approx x_2(n)$;
- 9) Сравнение сигналов $x_2(n)$ и $e(n) \approx x_2(n)$ по среднеквадратическому критерию (**RMSE – Root Mean Squared Error**);
- 10) Вычисление величины (степени) подавления эхо-сигнала Q .

АЛГОРИТМ ЭХОПОДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АФ (2)

Вывод графиков в MATLAB:

- 1) Сигналы 1-го и 2-го источников $x_1(n)$ и $x_2(n)$ и их ДПФ;
- 2) Образцовый сигнал $d(n)$ и его ДПФ;
- 3) Выходной сигнал АФ $y(n) \approx x_{1э}(n)$ и его ДПФ;
- 4) Сигнал ошибки АФ $e(n) \approx x_2(n)$ и его ДПФ.

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

2) Подавление эхо-сигнала Q:
$$Q = 10 \lg \frac{\sum_{n=0}^{L-1} |x_1(n)|^2}{\sum_{n=0}^{L-1} |x_2(n) - e(n)|^2}$$

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИГНАЛОВ

$$x_1(n) = A_{11} \cos\left(\frac{2\pi f_{11} n}{f_d}\right) + A_{12} \cos\left(\frac{2\pi f_{12} n}{f_d}\right) + A_{13} \cos\left(\frac{2\pi f_{13} n}{f_d}\right)$$

$$x_2(n) = A_{21} \cos\left(\frac{2\pi f_{21} n}{f_d}\right) + A_{22} \cos\left(\frac{2\pi f_{22} n}{f_d}\right) + A_{23} \cos\left(\frac{2\pi f_{23} n}{f_d}\right)$$

$$f_d = 4000 \quad L = 3000 \quad f_{11} = 200 \quad f_{12} = 500 \text{ Гц}; \quad f_{13} = 1200 \text{ Гц}$$

$$A_{11} = 1.5; A_{12} = 2.5; A_{13} = 4 \quad f_{21} = 700 \quad f_{22} = 700 \text{ Гц}; \quad f_{23} = 1400 \text{ Гц}$$

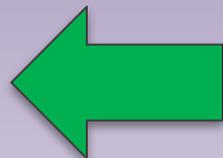
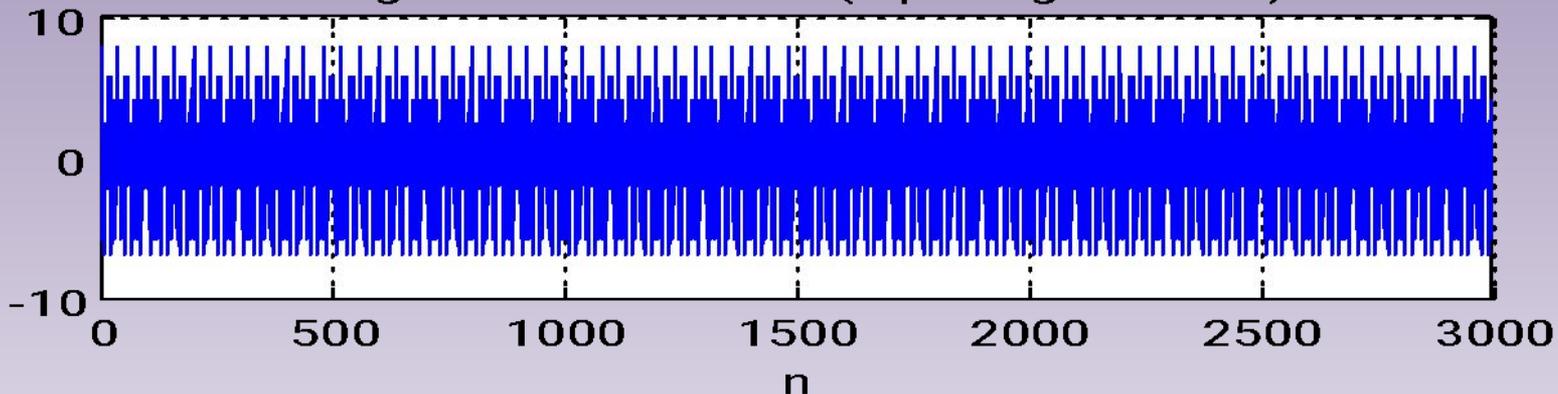
$$A_{21} = 0.5; A_{22} = 1; A_{23} = 0.1 \quad N = 40 \text{ рядок КИХ-фильтра в составе АФ}$$

$$N_1 = 10 \text{ рядок КИХ-фильтра ФНЧ}$$

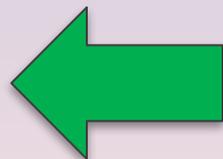
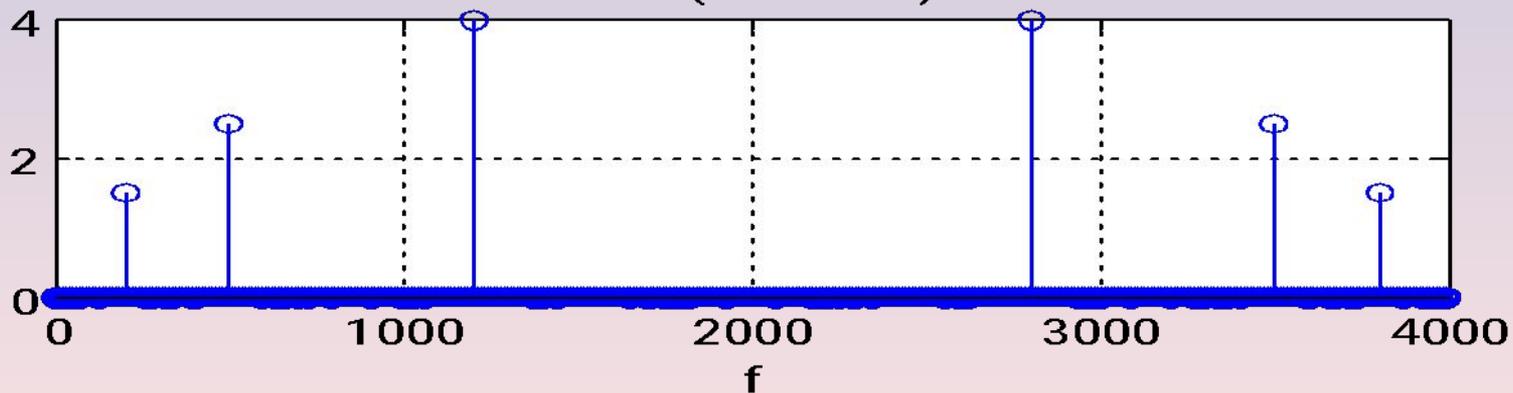
формирователь эхо – сигнала); норм. частота рзрыва 0.2

СИГНАЛ ОТ ИСТОЧНИКА И ЕГО ДПФ

Signal from Source 1 (Input Signal of AF)

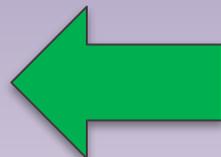
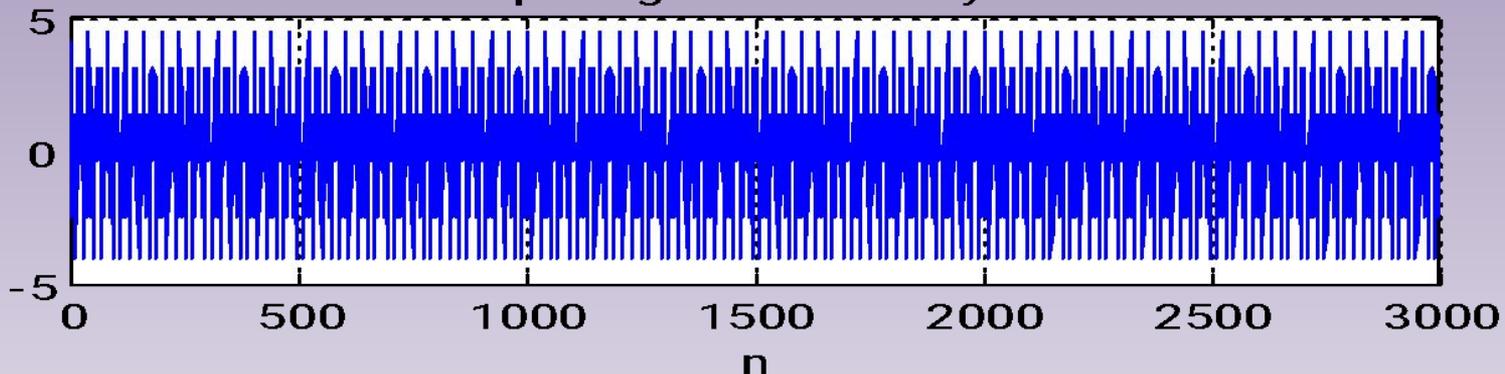


DFT (Source 1)

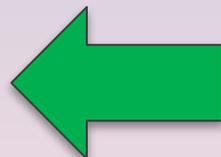
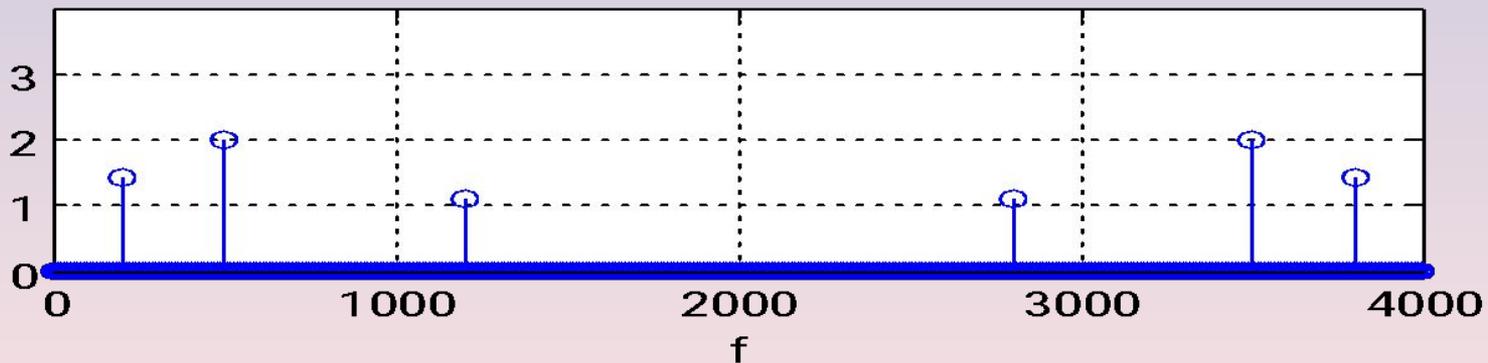


ЭХО-СИГНАЛ И ЕГО ДЦФ

Output signal of echo-system

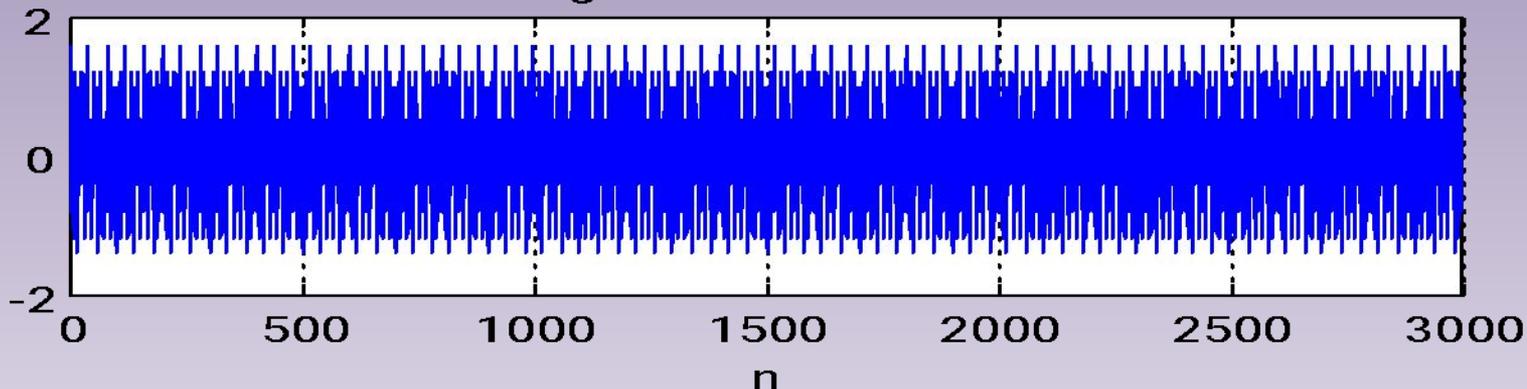


DFT (Echo signal)

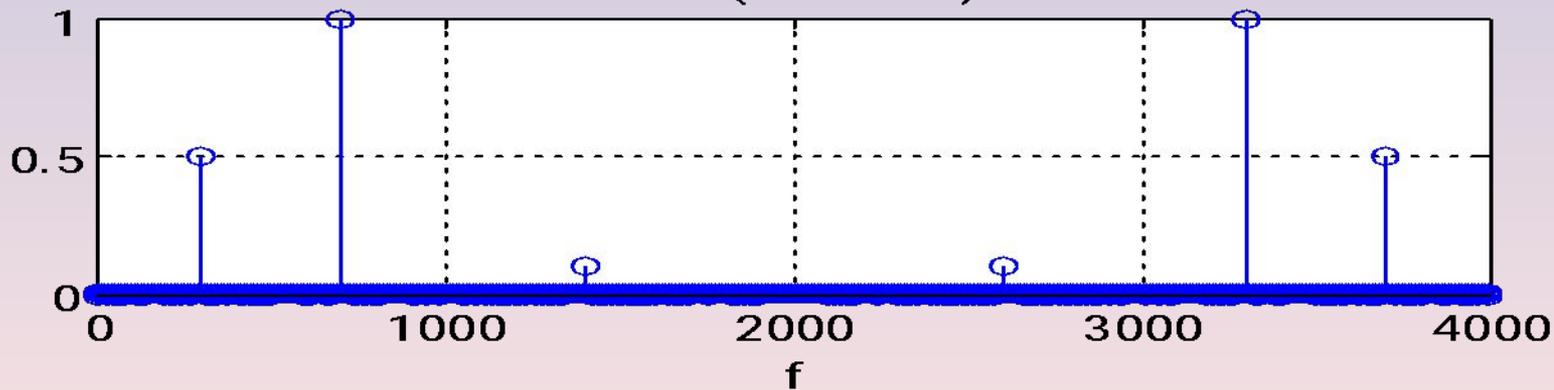


СИГНАЛ ОТ ИСТОЧНИКА 2 И ЕГО ДПФ

Signal from Source 2

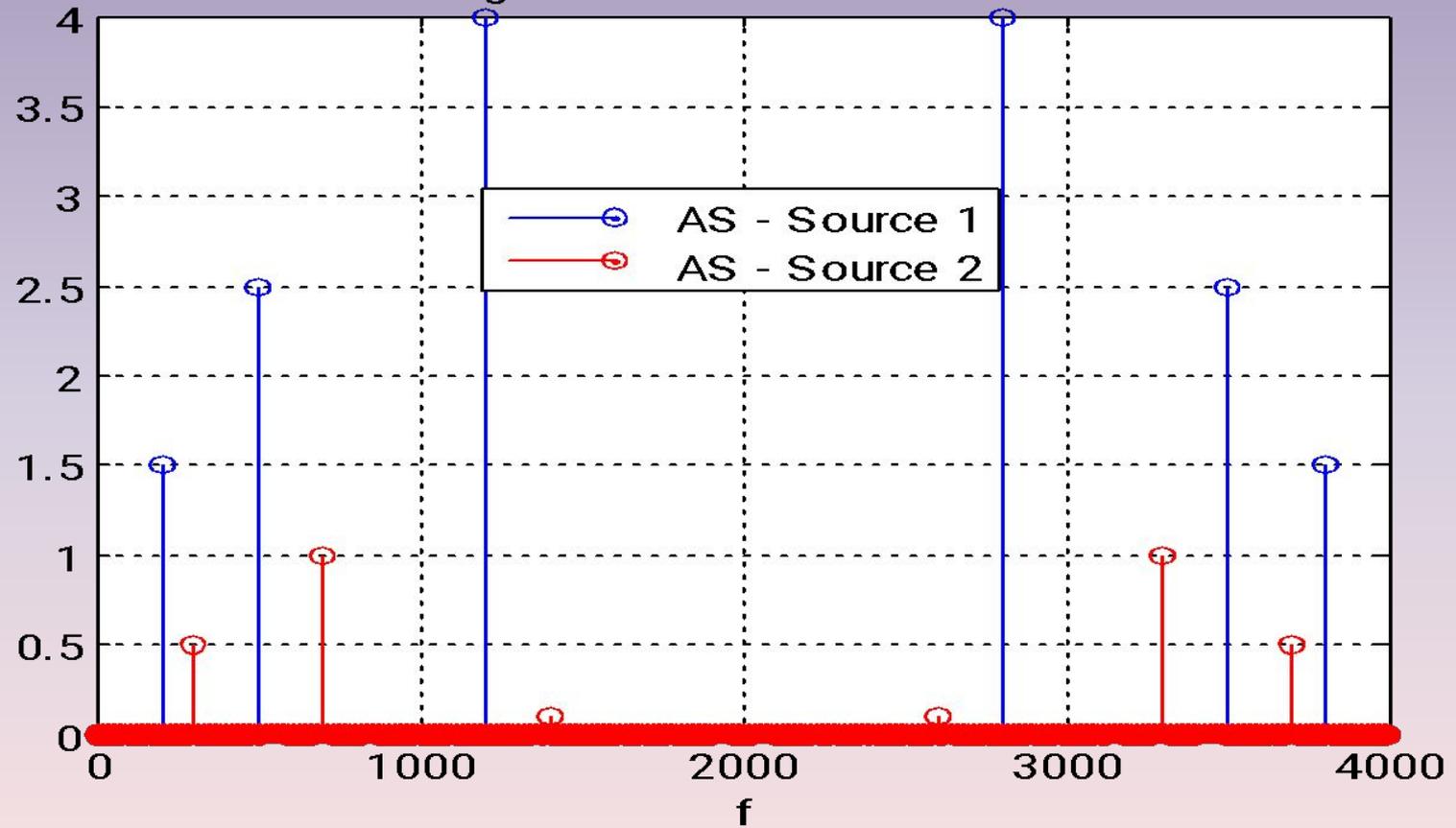


DFT (Source 2)

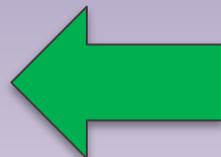
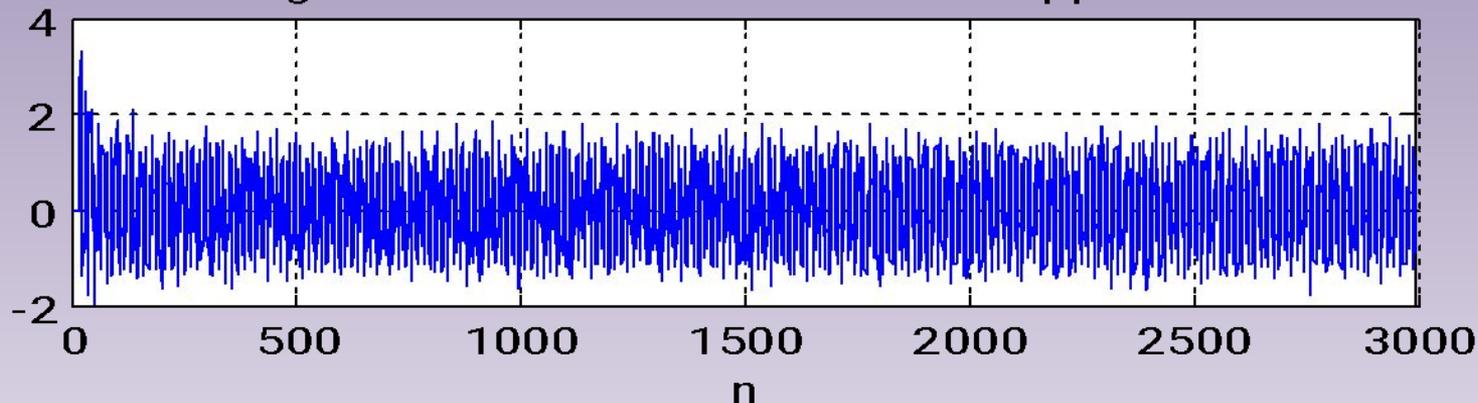


ДФФ СИГНАЛОВ ОТ ИСТОЧНИКА 1 И ИСТОЧНИКА 2

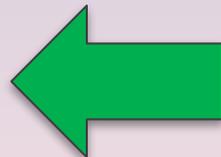
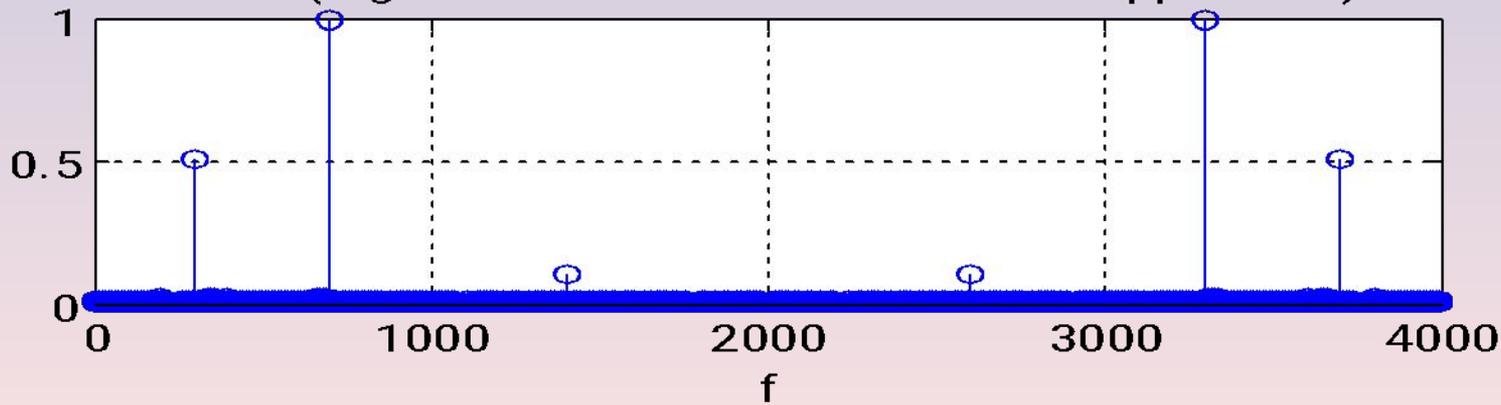
DFT of Signals from Source 1 and Source 2



Signal from Source 2 after Echo Suppression

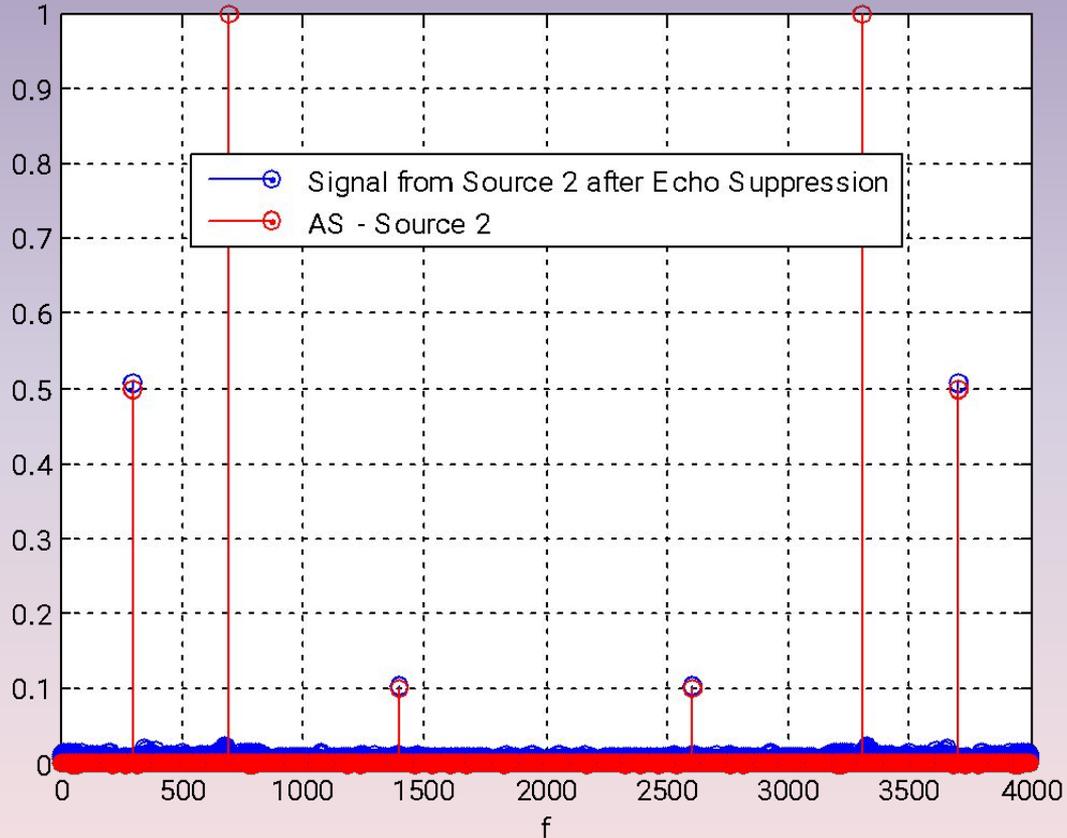


DFT (Signal from Source 2 after Echo Suppression)



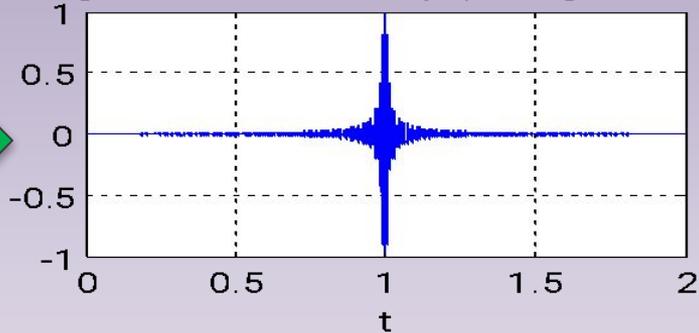
ДФФ СИГНАЛОВ ОТ ИСТОЧНИКА 2 (ИСХОДНЫЙ И ПОСЛЕ ЭХОПОДАВЛЕНИЯ)

DFT of Signal from Source 2 after Echo Suppression and Original Signal from Source 2

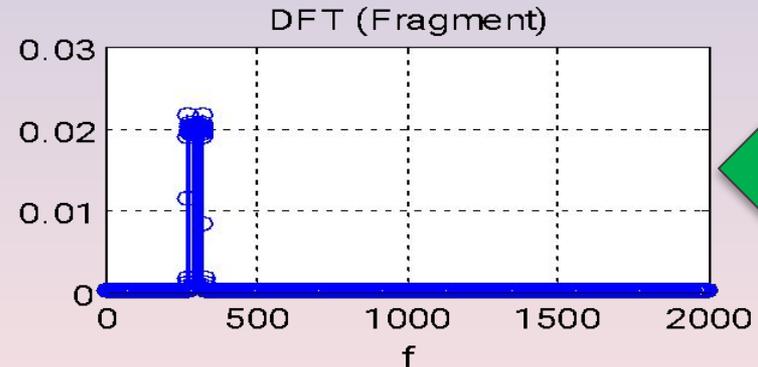
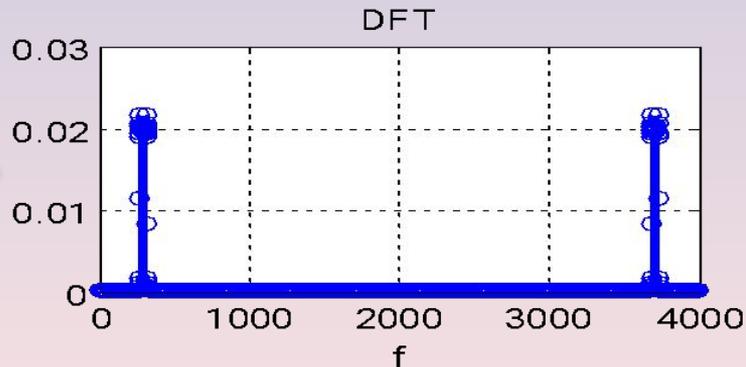
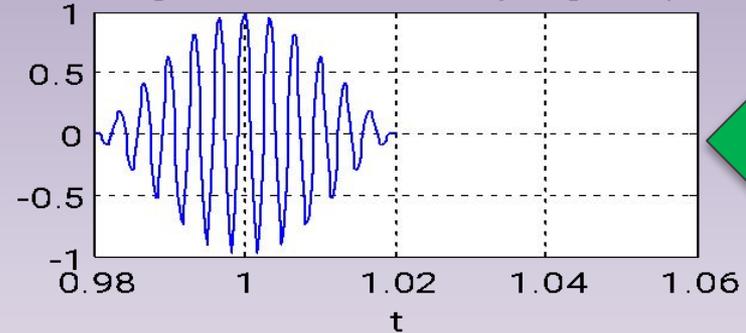


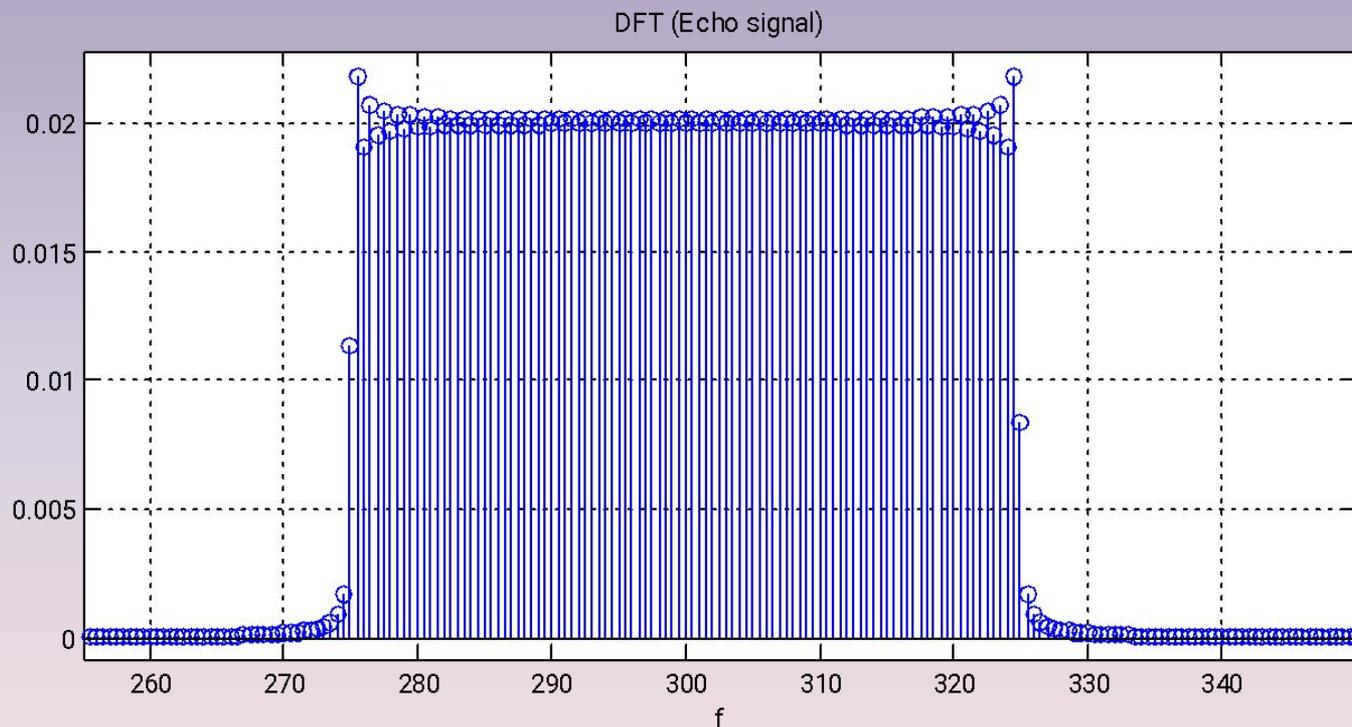
$F_s = 4000$ Гц; $f_0 = 300$ Гц; $L = 4000$

Signal from Source 1 (Input Signal of AF)



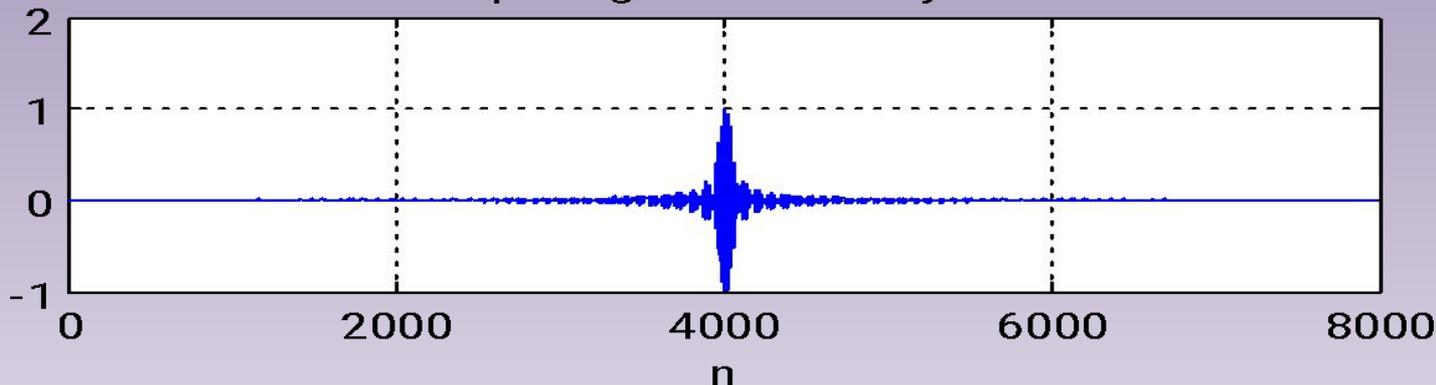
Signal from Source 1 (Fragment)



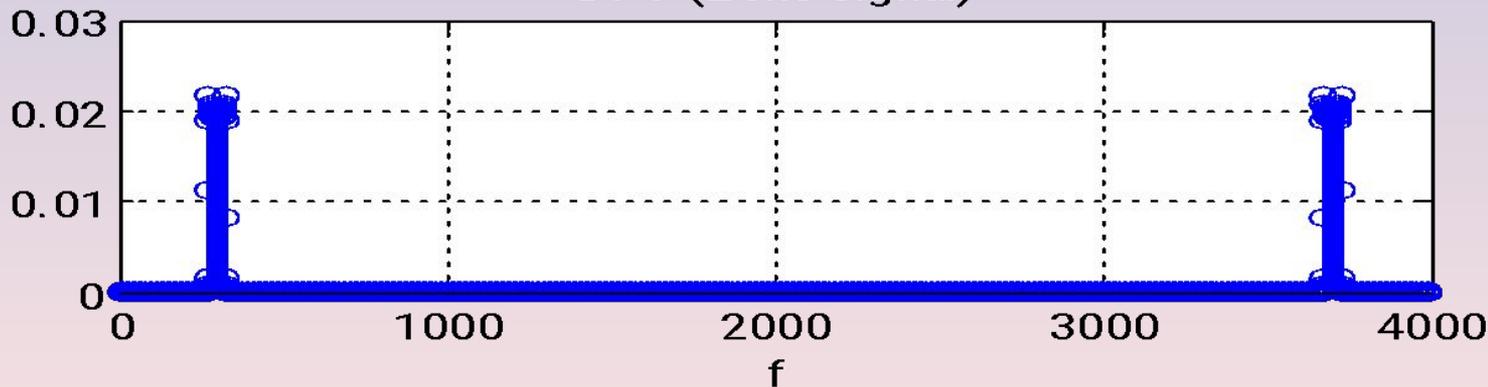


ЭХО-СИГНАЛ И ЕГО ДПФ

Output signal of echo-system

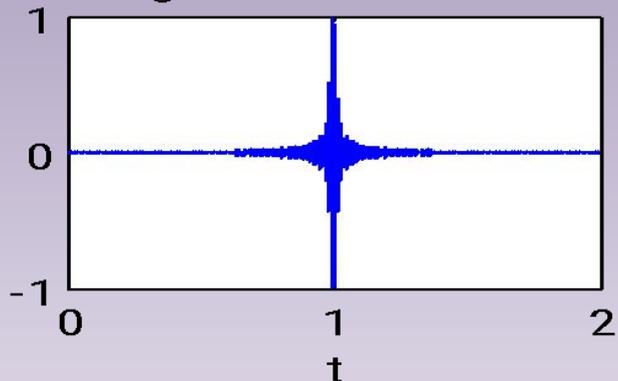


DFT (Echo signal)

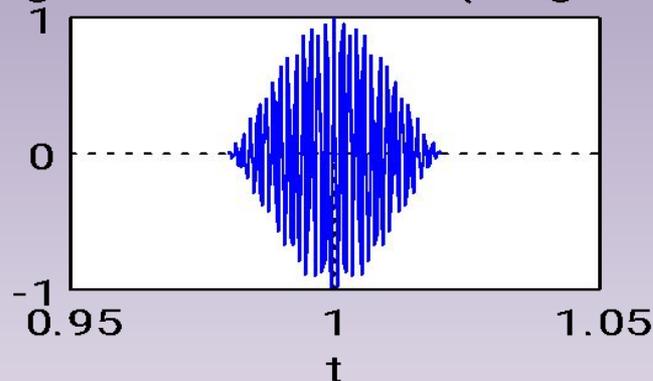


СИГНАЛ ОТ ИСТОЧНИКА 2 И ЕГО ДПФ (1)

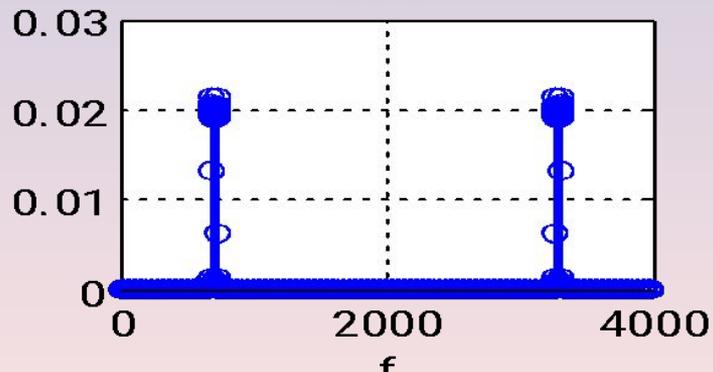
Signal from Source 2



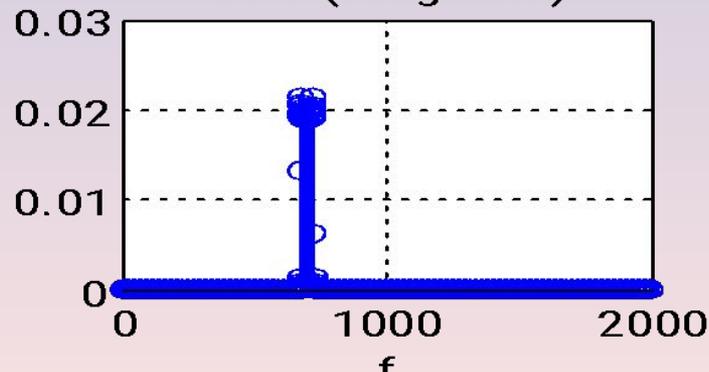
Signal from Source 2 (Fragment)



DFT

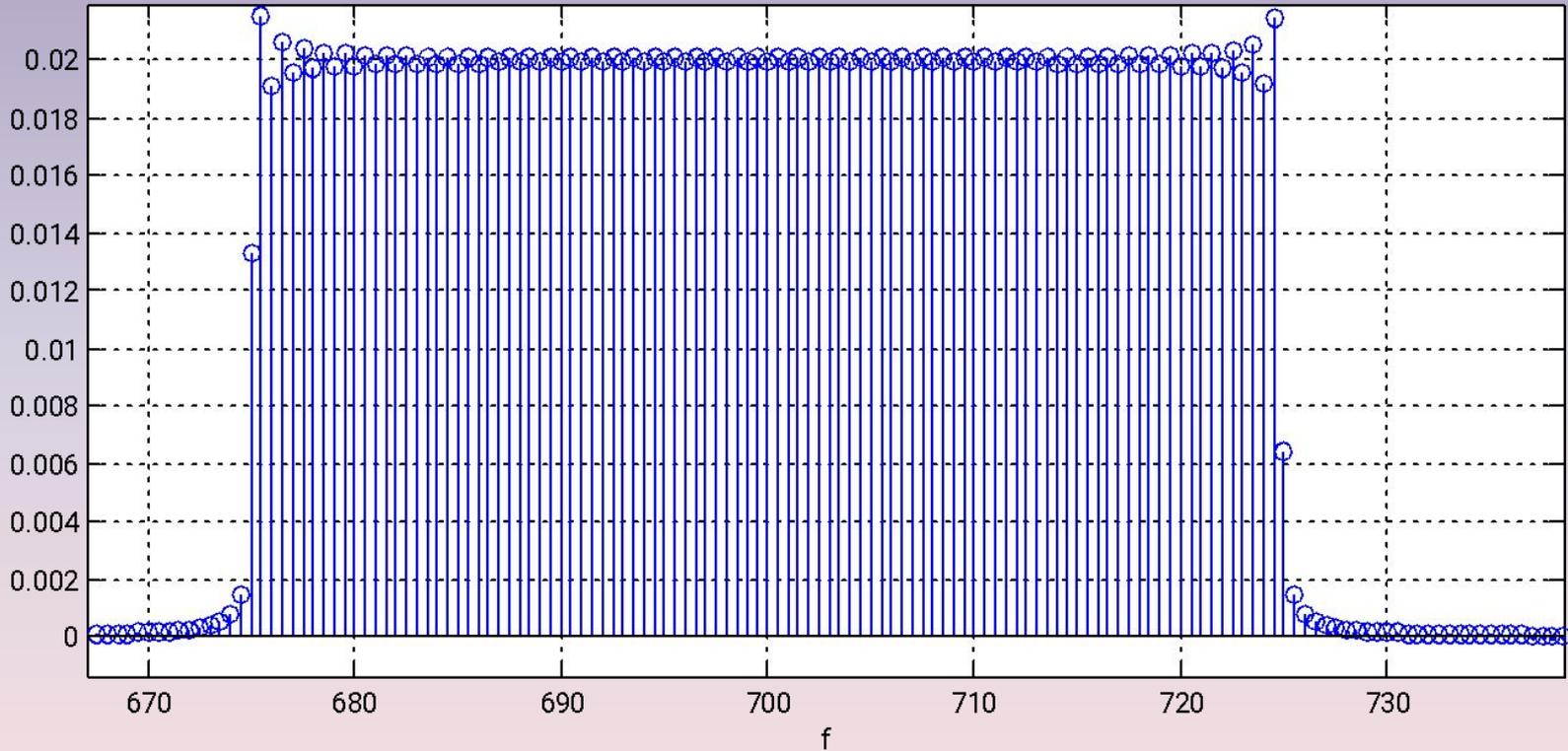


DFT (Fragment)

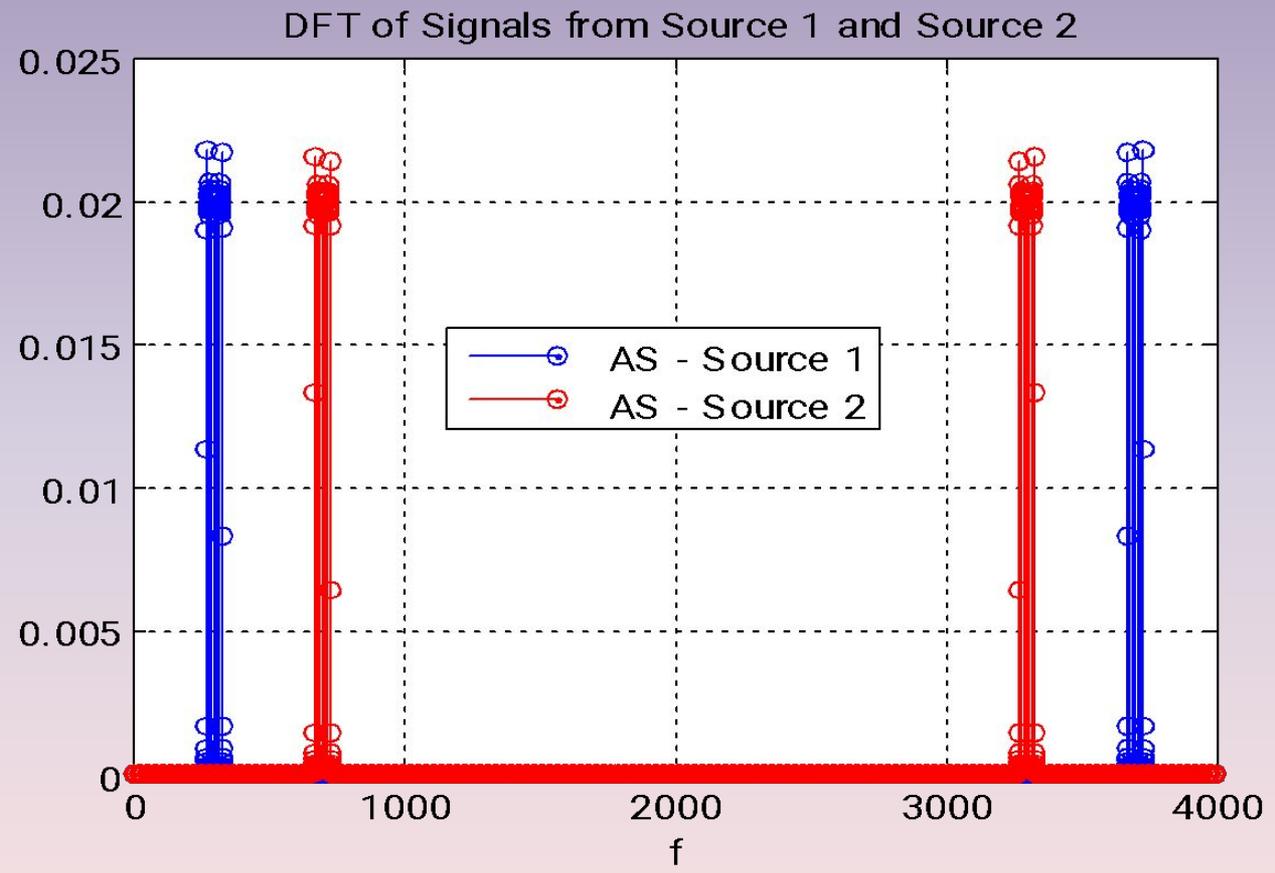


СИГНАЛ ОТ ИСТОЧНИКА 2 И ЕГО ДПФ (2)

DFT (Fragment)

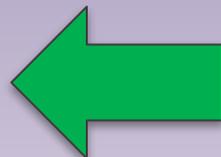
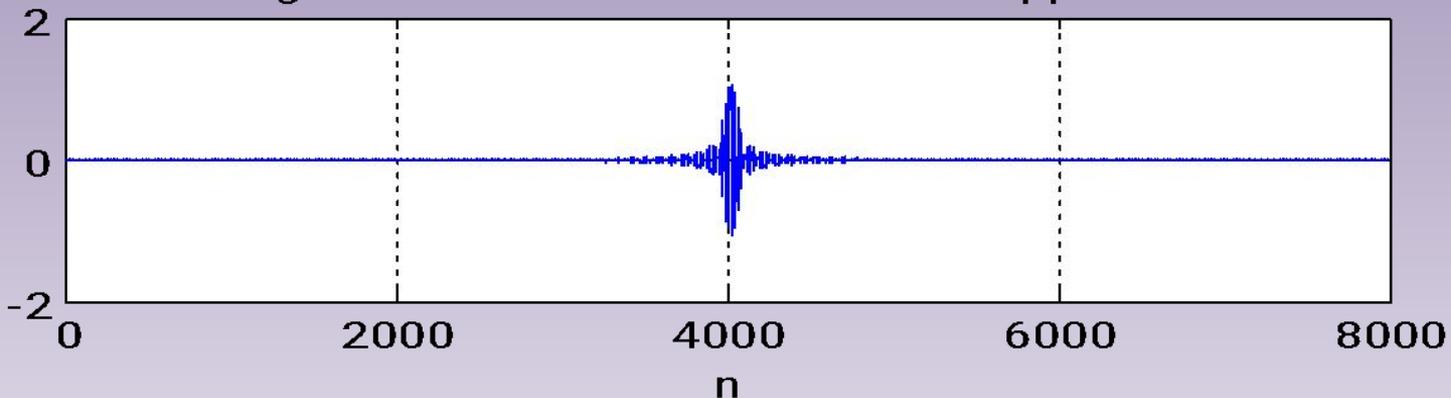


ДФФ СИГНАЛОВ ОТ ИСТОЧНИКА 1 И ИСТОЧНИКА 2

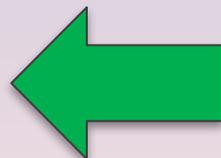
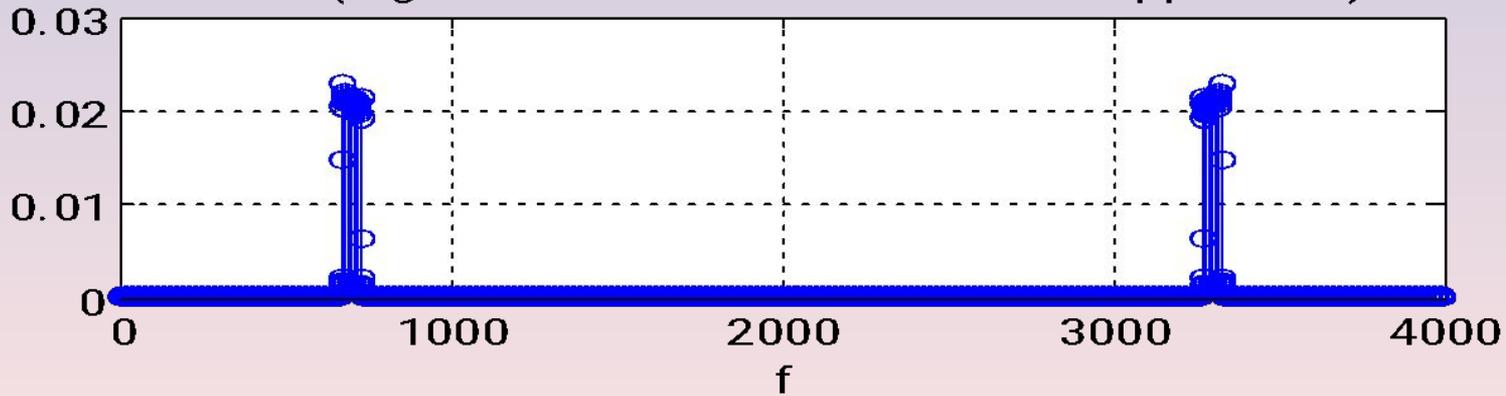


ОЦЕНКА СИГНАЛА ОТ ИСТОЧНИКА 2 И ЕЕ ДЦФ

Signal from Source 2 after Echo Suppression

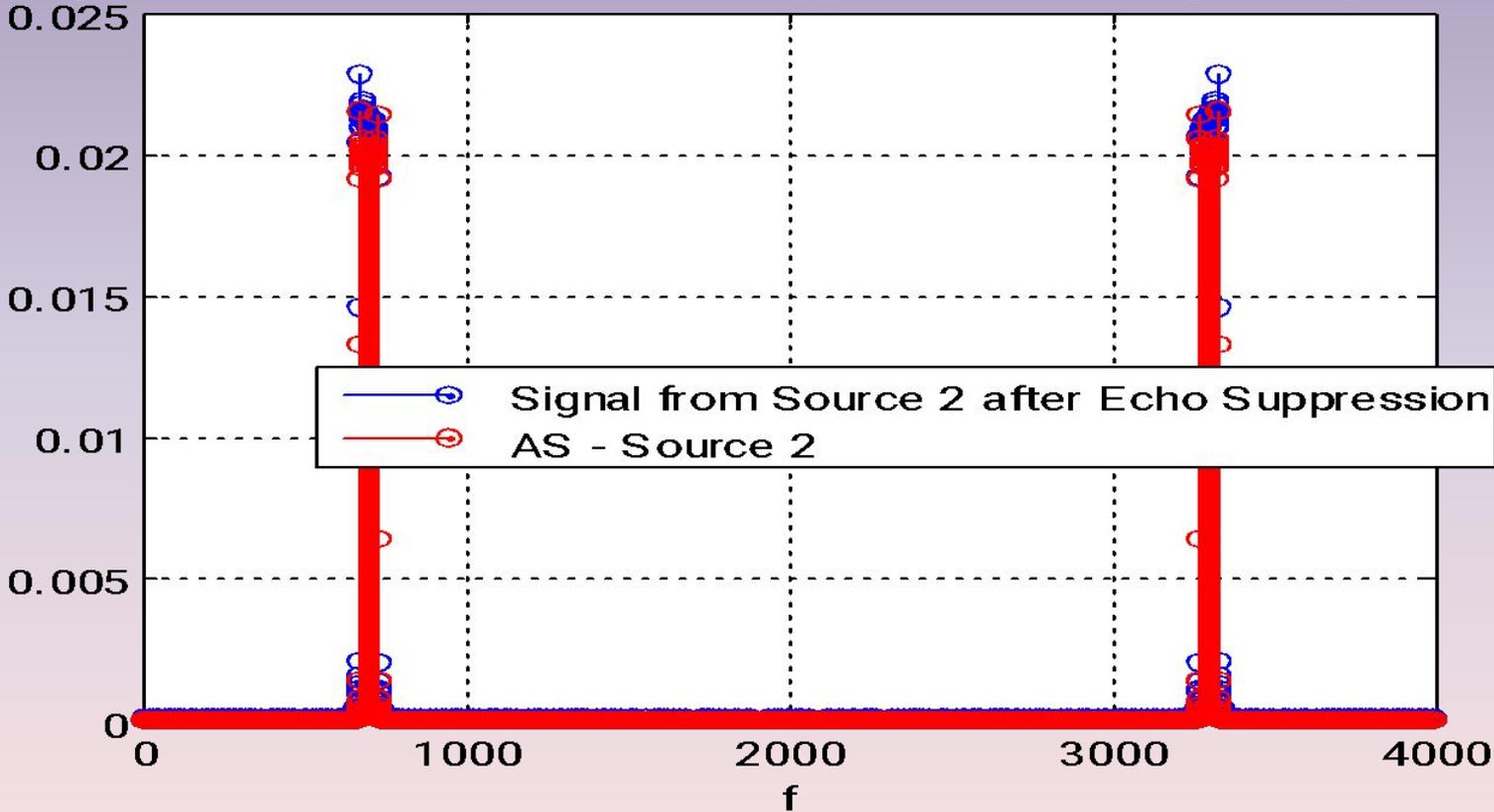


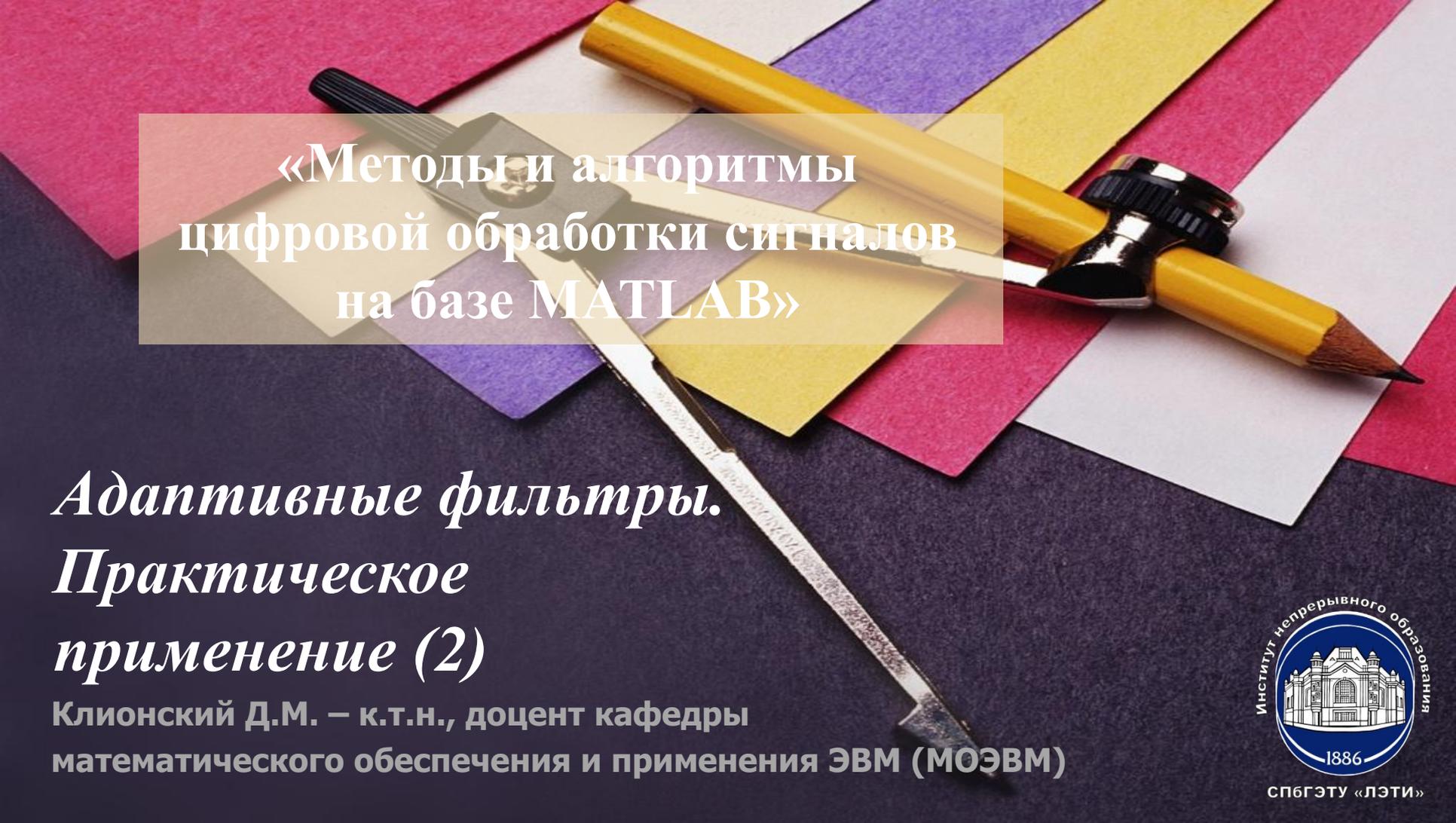
DFT (Signal from Source 2 after Echo Suppression)



ДФФ СИГНАЛОВ ОТ ИСТОЧНИКА 2 (ИСХОДНЫЙ И ПОСЛЕ ЭХОПОДАВЛЕНИЯ)

T of Signal from Source 2 after Echo Suppression and Original Signal from Source 2





«Методы и алгоритмы
цифровой обработки сигналов
на базе MATLAB»

*Адаптивные фильтры.
Практическое
применение (2)*

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