

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт компьютерных наук и технологий
Высшая школа программной инженерии

Лабораторная работа №5

Комбинированное применение ключевых операций.
Определение времени интервалов между радиоимпульсами.

Выполнил
студент гр. в3530904/00030

В.С. Баганов

Руководитель
доцент, к.т.н.

В.С. Тутыгин

«_____» _____ 202__ г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

1. Цифровая фильтрация	3
1.1. Цель работы	3
1.2. Программа работы	3
1.3. Результаты работы	4
1.3.1. Сравнение результатов, получаемых с помощью методов МА и АКМ	4
1.3.2. Статистические испытания методов МА и АКМ	6
1.4. Вывод	6
1.4.1. Листинг Matlab. lab_5M_2017.m	7
1.4.2. Листинг Matlab. lab_5M_stat_2017.m	10

1. Цифровая фильтрация

1.1. Цель работы

Цель данной работы — исследовать зависимость относительной погрешности при определении времени задержки радиоимпульса с помощью метода максимальной амплитуды и с помощью метода АКМ.

При измерении времени задержки радиоимпульса с помощью метода АКМ использовать оконную функцию Хемминга. В качестве коэффициента сходства использовать коэффициент ковариации. Вариант 22.

1.2. Программа работы

1. Исследуйте сравнительную точность определения временной задержки радиоимпульса при использовании методов МА и АКМ при различных СКО шума на входе, заданных виде оконной функции с помощью которой сформирован радиоимпульс и способа сравнения задержанного радиоимпульса с эталонными.

2. Исследуйте влияние выбора вида оконной функции (Барлетта, Хемминга, Хеннинга, экспоненциальной), используемой для формирования радиоимпульса, способа сравнения задержанного радиоимпульса с эталонными (с помощью ковариации, корреляции, нормы Минковского, нормы Поддорогина) на точность определения временной задержки.

3. Исследуйте статистические характеристики: функции распределения и СКО погрешностей вычисленных методами МА и АКМ значений временной задержки

Измерить временную задержку в диапазоне 300.0–350.0 (шаг 10.0) при уровне шума 0–0.2 (шаг 0.1) с помощью методов максимальной амплитуды и АКМ. Результаты измерений занести в протокол.

Провести статистические испытания обоих методов для уровня шума 0–0.2. Зарегистрировать полученные погрешности в протоколе.

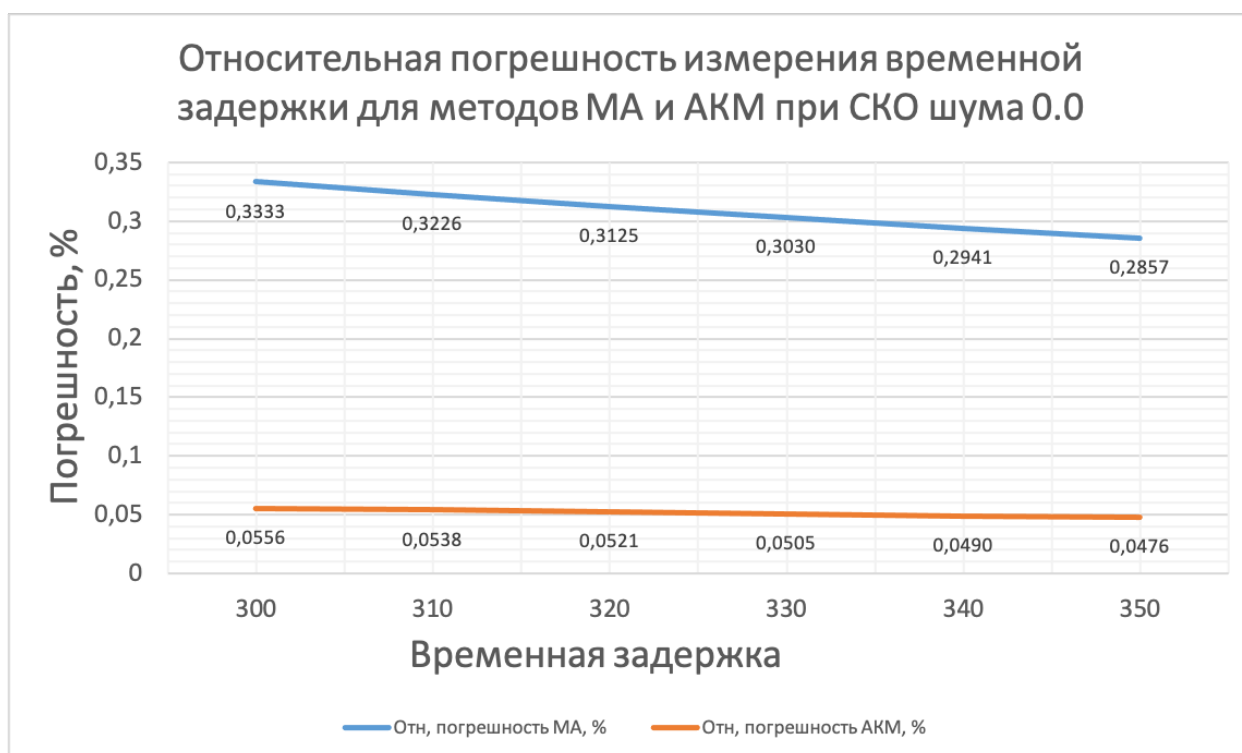
1.3. Результаты работы

1.3.1. Сравнение результатов, получаемых с помощью методов МА и АКМ

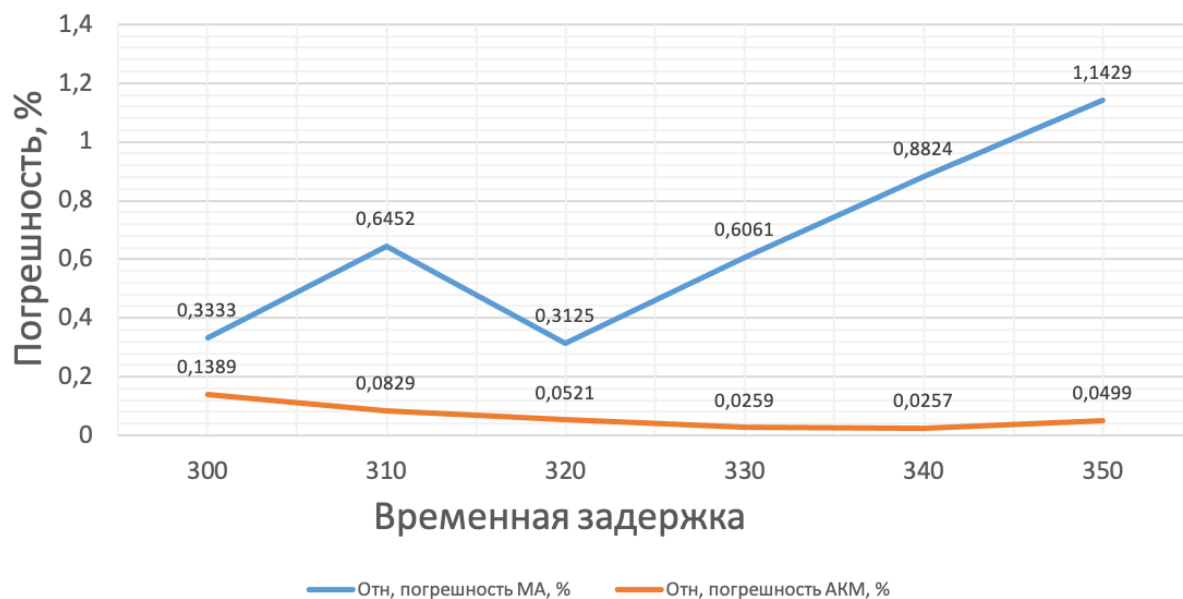
В качестве метода определения сходства использовались оконная функция Хемминга и коэффициент ковариации. Получены следующие результаты:

СКО шума на входе	Временная задержка				
		МА	Отн, погрешность МА, %	АКМ	Отн, погрешность АКМ, %
0	300,00	299	0,3333	299,8333	0,0556
	310,00	309	0,3226	309,8333	0,0538
	320,00	319	0,3125	319,8333	0,0521
	330,00	329	0,3030	329,8333	0,0505
	340,00	339	0,2941	339,8333	0,0490
	350,00	349	0,2857	349,8333	0,0476
0,1	300,00	301	0,3333	299,5833	0,1389
	310,00	308	0,6452	310,0845	0,0829
	320,00	319	0,3125	319,8333	0,0521
	330,00	328	0,6061	330,0855	0,0259
	340,00	337	0,8824	339,9125	0,0257
	350,00	346	1,1429	350,1747	0,0499
0,2	300,00	302	0,6667	300,3333	0,1111
	310,00	308	0,6452	310,0845	0,0272
	320,00	317	0,9375	319,9243	0,0236
	330,00	328	0,0259	330,0855	0,6061
	340,00	335	1,4706	340,4229	0,1244
	350,00	355	1,4286	349,5882	0,1176

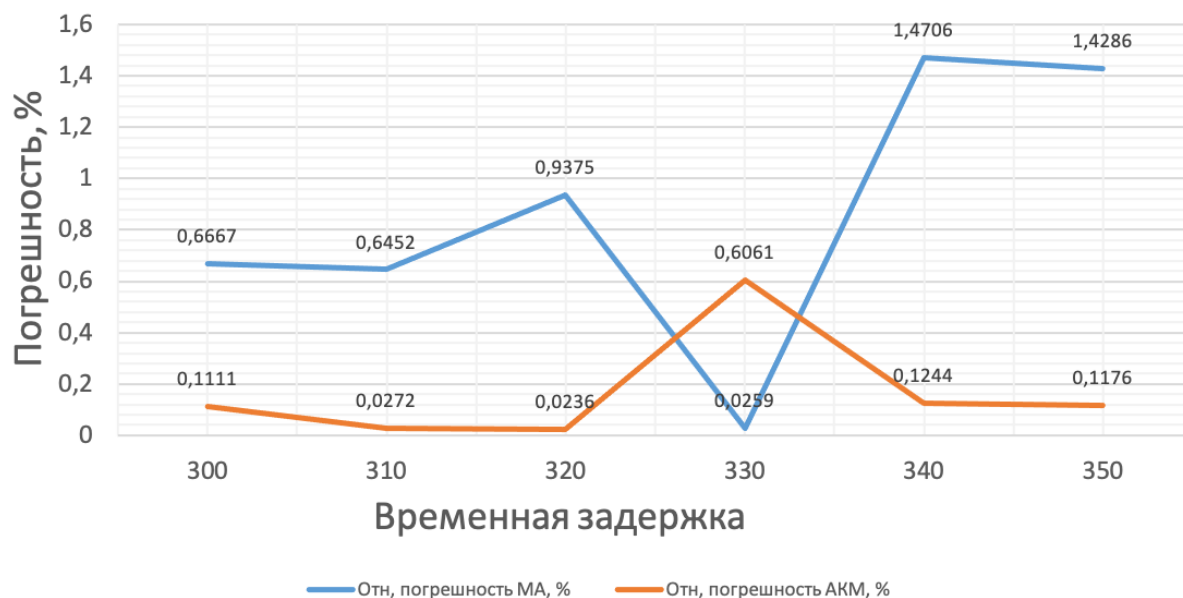
Графически полученные результаты представлены в виде следующих графиков.



Относительная погрешность измерения временной задержки для методов МА и АКМ при СКО шума 0.1



Относительная погрешность измерения временной задержки для методов МА и АКМ при СКО шума 0.2

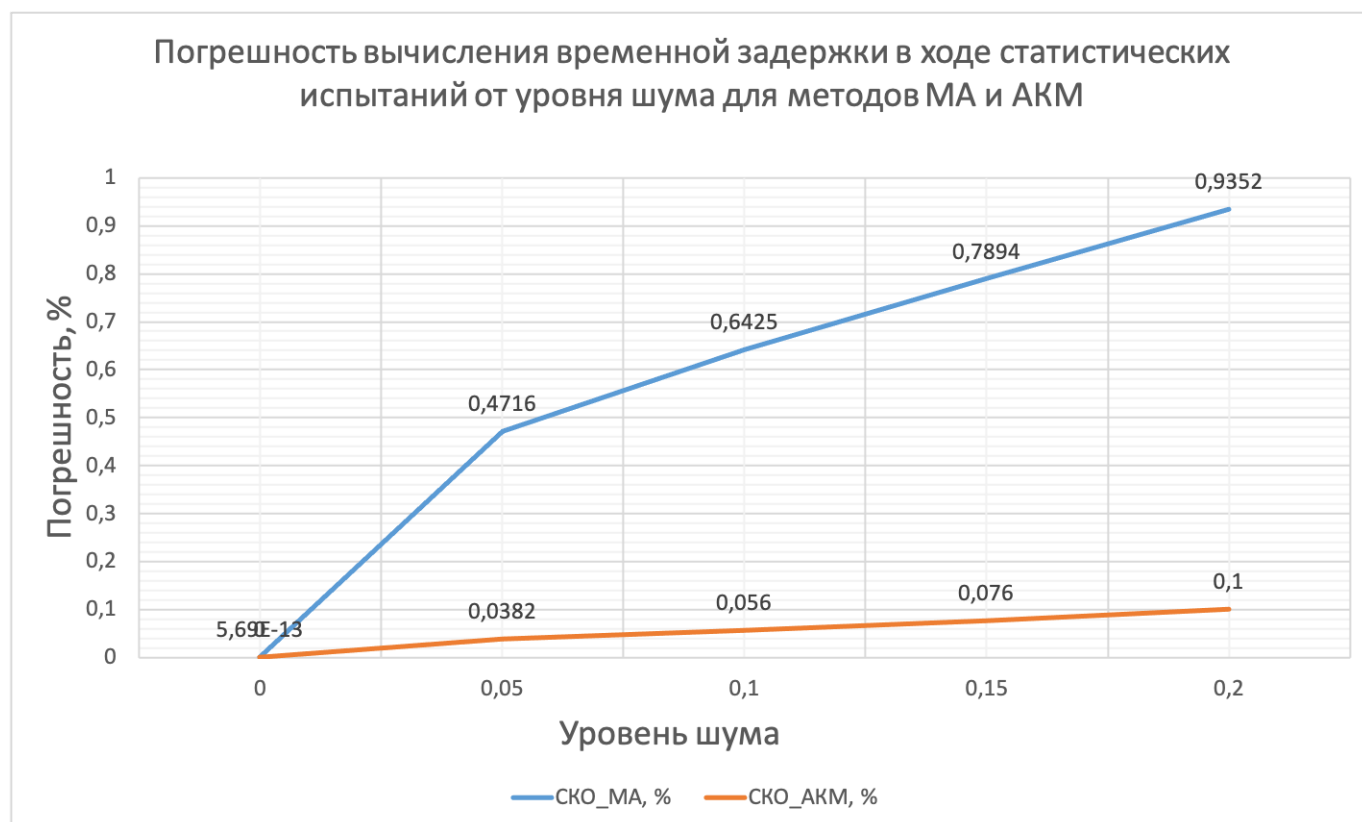


1.3.2. Статистические испытания методов МА и АКМ

В ходе статистических испытаний методов МА и АКМ получены следующие результаты.

СКО шума на входе	Погрешности	
	СКО_МА, %	СКО_АКМ, %
0	0	5.6857e-13
0,05	0.4716	0.0382
0,1	0.6425	0.0560
0,15	0.7894	0.0760
0,2	0.9352	0.1000

График зависимости погрешности вычисленной временной задержки от СКО шума для обоих методов.



1.4. Вывод

Результаты работы показывают, что определение временного сдвига радиоимпульса с помощью метода нахождения максимума амплитуды МА отраженного сигнала имеет большую погрешность чем у АКМ, при использовании оконной функции Хемминга и коэффициента ковариации.

Погрешность измерений растет прямо пропорционально уровню зашумленности сигнала, но при АКМ меняется в очень малых значениях (сотые доли процента), тогда как при МА меняется сильно, погрешность при шуме 0,2 достигает почти 1%.

Результаты работы показывают, что метод АКМ (аппроксимационно-корреляционный метод) позволяет точнее определять временную задержку отраженного радиоимпульса, чем метод МА.

1.4.1. Листинг Matlab. lab_5M_2017.m

```
1 %Программа определения времени задержки радиоимпульса
2 %Используется сочетание приближенного определения времени задержки
3 %по сдвигу максимума радиоимпульса с вычислением функции коэффициентов
4 %сходства радиоимпульса с серией эталонных сигналов,
5 %передискретизацией, нахождением максимума этой функции, итерационным
  ↳ %процессом вычисления.
6
7 kt=1024;%количество отсчетов сигнала
8 shift=330;% сдвиг отраженного модельного сигнала
9 h=100;%полуширина радиоимпульса
10 Q=0.1;%1уровень шума в долях СКО
11
12 clc;%очистка Command Window
13 for i=1:kt
14     y(i)=0;
15     sy(i)=0;
16     w(i)=0;
17     w1(i)=0;
18 end
19
20 %ПРОГРАММНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ СИГНАЛА
21     noise=randn(kt);%генерация массива нормально распределенного шума
22     for i=1:kt %генерация оконной функции
23         if(i>(shift-h)&(i≤shift+h))
24 %             w(i)=1-abs(i-shift)/h;%окно Барлетта(треугольное)
25             %w(i)=0.5*(1+cos(pi*(i-shift)/h));%окно Хеннинга
26             w(i)=0.54+0.46*cos(pi*(i-shift)/h);%окно Хемминга
27             %w(i)= exp(-0.0003*(i-shift)^2.0); %экспоненциальное окно
28         end
29     end
30     for i=1:kt %генерация задержанного радиоимпульса
31         y(i)=w(i)*cos(2*pi*(i-(shift))/75);
32         y(i)=y(i)+Q*noise(i);
33     end
34     i=1:kt;
35     plot(i,y);
36     title('y');
37 %нахождение макс. знач. y[i] массива Y
38     C=max(y);
39 %нахождение номера элемента массива Y, соответствующего макс. знач. y[i]
40     for i=1:kt
41         if (y(i)=C)
42             shiftmax=i-1;
43             break
44         end
45     end
46     if(shiftmax<0)|(shiftmax≥550000)
47         dt_int=shiftmax;
48     else
49         dt=shiftmax;%оценка времени задержки по методу максимума амплитуды
50         search_area=h/(2*dt); %область поиска относительно центра
51         for ki=1:3 %Цикл определяет количество итераций
52             shagkor=dt*search_area/3;
53             k=0;
54             dt1=dt-dt*search_area;
55             dt2=dt+dt*search_area;
56             %диапазон сдвигов должен быть ограничен - от 0 до 800
```

```

57     if (dt1<0) dt1=0;end;
58     if (dt2>800) dt2=800; end;
59     for j=dt1:shagkor:dt2 %цикл для создания 6 эталонов в окрестности
60         %приближенного значения сдвига, определенного по MAX
        ↪ амплитуды.
61         k=k+1;
62         xkor(k)=j;
63         shift1=j;
64         kor(k)=0;
65         for i=1:kt
66             x(i)=0;
67         end
68         %Вычисление массива эталонного радиоимпульса X
69         for i=1:kt %генерация оконной функции для эталонного радиоимпульса
70             if (i>(shift1-h)&(i≤shift1+h))
71 %                 w1(i)=1-abs(i-shift1)/h;%окно Барлетта(треугольное)
72                 %w1(i)=0.5*(1+cos(pi*(i-shift1)/h));%окно Хеннинга
73                 w1(i)=0.54+0.46*cos(pi*(i-shift1)/h);%окно Хемминга
74                 % w1(i)=exp(-0.001*(i-shift1)^2.0); %экспоненциальное окно
75             end
76         end
77         for i=1:kt %генерация эталонного радиоимпульса
78             x(i)=w1(i)*cos(2*pi*(i-(shift1))/75);
79         end
80         %вычисление средних значений X и Y
81         x_sr=mean(x);
82         y_sr=mean(y);
83         x_sko=0;
84         y_sko=0;
85         kor1(k)=0; % начальное значение суммы модулей суммы
86         kor(k)=0; % начальное значение коэф. корреляции
87         %вычисление СКО и коэффициента корреляции X и Y
88         for i=1:kt
89             x_sko=x_sko+(x(i)-x_sr)*(x(i)-x_sr);
90             y_sko=y_sko+(y(i)-y_sr)*(y(i)-y_sr);
91             kor(k)=kor(k)+(x(i)-x_sr)*(y(i)-y_sr);
92
93         %                 sxy(i)=(abs(x(i)-y(i))); %вычисление нормы Минковского
94         %                 sxy(i)=(abs(x(i)+y(i))); %вычисление нормы Поддорогина
95         %                 kor1(k)=kor1(k)+sxy(i);%вычисление нормы Минковского и
        ↪ Поддорогина
96         end
97         kor1(k)=kor(k);%вычисление коэффициента ковариации
98         % kor1(k)=kor(k)/(sqrt(x_sko*y_sko));%вычисление коэффициента
        ↪ корреляции
99         kor(k)=kor1(k);
100     end
101     xx=1:k;
102     xi=1:0.1:k;
103     yint=interp1(xx,kor,xi,'spline');% сплайн-интерполяция коэф
        ↪ корреляции
104     r1=kor;
105     %следующие 5 строк - отображение графика функции коэф.
        ↪ корреляции/
106     %коэф. Минковского/коэф. Поддорогина от сдвига эталонов
107     %график получен с помощью ф-и сплайн-аппроксимации spars
108     apr=spars(xkor,kor,0.000001);
109     figure
110     fnplt(apr)
111     hold on

```



```

112         plot(xkor,r1,'ro')
113         hold off
114
115         cmax=max(yint); %нахождение максимума функции коэф. корр./ковар.
116 %         cmax=min(yint); %нахождение минимума функции коэф. Минковского
117         for i=1:round((k-1)/0.1+1)
118             if (yint(i)==cmax)
119                 dt_int=dt-dt*search_area+(i-1)*shagkor/10; %уточненное
120                     ↪ значение врем.задержки по MAX функции коэф. корр.
121             end
122         end
123         dt=dt_int;
124         search_area=search_area/2;
125     end
126 dt_acm=dt% %оценка времени задержки по методу АКМ
127 dt_ma=shiftmax %оценка времени задержки по методу максимума амплитуды
128     ↪ (MA)
129 err_acm= abs(dt-shift)/shift*100
130 err_ma=abs(dt_ma-shift)/shift*100
131
132 pause;
133 close all; %заккрытие окон графического вывода
clear; %очистка Workspace

```

1.4.2. Листинг Matlab. lab_5M_stat_2017.m

```
1  %Программа определения времени задержки радиоимпульса
2  %Используется сочетание приближенного определения времени задержки
3  %по сдвигу максимума радиоимпульса с вычислением функции коэффициентов
4  %сходства радиоимпульса с серией эталонных сигналов,
5  %передискретизацией, нахождением максимума этой функции, итерационным
   ↳ %процессом вычисления.
6
7  kt=1024;%количество отсчетов сигнала
8  shift=330;% сдвиг отраженного модельного сигнала
9  h=100;%полуширина радиоимпульса
10 Q=0.1;%1уровень шума в долях СКО
11
12 clc;%очистка Command Window
13 for i=1:kt
14     y(i)=0;
15     sy(i)=0;
16     w(i)=0;
17     w1(i)=0;
18 end
19
20 %ПРОГРАММНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ СИГНАЛА
21     noise=randn(kt);%генерация массива нормально распределенного шума
22     for i=1:kt %генерация оконной функции
23         if(i>(shift-h)&(i≤shift+h))
24             % w(i)=1-abs(i-shift)/h;%окно Барлетта(треугольное)
25             %w(i)=0.5*(1+cos(pi*(i-shift)/h));%окно Хеннинга
26             w(i)=0.54+0.46*cos(pi*(i-shift)/h);%окно Хемминга
27             %w(i)= exp(-0.0003*(i-shift)^2.0); %экспоненциальное окно
28         end
29     end
30     for i=1:kt %генерация задержанного радиоимпульса
31         y(i)=w(i)*cos(2*pi*(i-(shift))/75);
32         y(i)=y(i)+Q*noise(i);
33     end
34     i=1:kt;
35     plot(i,y);
36     title('y');
37     %нахождение макс. знач. y[i] массива Y
38     C=max(y);
39     %нахождение номера элемента массива Y, соответствующего макс. знач. y[i]
40     for i=1:kt
41         if (y(i)=C)
42             shiftmax=i-1;
43             break
44         end
45     end
46     if(shiftmax<0)|(shiftmax≥550000)
47         dt_int=shiftmax;
48     else
49         dt=shiftmax; %оценка времени задержки по методу максимума амплитуды
50         search_area=h/(2*dt); %область поиска относительно центра
51         for ki=1:3 %Цикл определяет количество итераций
52             shagkor=dt*search_area/3;
53             k=0;
54             dt1=dt-dt*search_area;
55             dt2=dt+dt*search_area;
56             %диапазон сдвигов должен быть ограничен - от 0 до 800
```

```

57     if (dt1<0) dt1=0;end;
58     if (dt2>800) dt2=800; end;
59     for j=dt1:shagkor:dt2 %цикл для создания 6 эталонов в окрестности
60         %приближенного значения сдвига, определенного по MAX
        ↪ амплитуды.
61         k=k+1;
62         xkor(k)=j;
63         shift1=j;
64         kor(k)=0;
65         for i=1:kt
66             x(i)=0;
67         end
68         %Вычисление массива эталонного радиоимпульса X
69         for i=1:kt %генерация оконной функции для эталонного радиоимпульса
70             if (i>(shift1-h)&(i≤shift1+h))
71                 % w1(i)=1-abs(i-shift1)/h;%окно Барлетта(треугольное)
72                 %w1(i)=0.5*(1+cos(pi*(i-shift1)/h));%окно Хеннинга
73                 w1(i)=0.54+0.46*cos(pi*(i-shift1)/h);%окно Хемминга
74                 % w1(i)=exp(-0.001*(i-shift1)^2.0); %экспоненциальное окно
75             end
76         end
77         for i=1:kt %генерация эталонного радиоимпульса
78             x(i)=w1(i)*cos(2*pi*(i-(shift1))/75);
79         end
80         %вычисление средних значений X и Y
81         x_sr=mean(x);
82         y_sr=mean(y);
83         x_sko=0;
84         y_sko=0;
85         kor1(k)=0; % начальное значение суммы модулей суммы
86         kor(k)=0; % начальное значение коэф. корреляции
87         %вычисление СКО и коэффициента корреляции X и Y
88         for i=1:kt
89             x_sko=x_sko+(x(i)-x_sr)*(x(i)-x_sr);
90             y_sko=y_sko+(y(i)-y_sr)*(y(i)-y_sr);
91             kor(k)=kor(k)+(x(i)-x_sr)*(y(i)-y_sr);
92         end
93         % sxy(i)=(abs(x(i)-y(i))); %вычисление нормы Минковского
94         % sxy(i)=(abs(x(i)+y(i))); %вычисление нормы Поддорогина
95         % kor1(k)=kor1(k)+sxy(i);%вычисление нормы Минковского и
        ↪ Поддорогина
96         end
97         kor1(k)=kor(k);%вычисление коэффициента ковариации
98         % kor1(k)=kor(k)/(sqrt(x_sko*y_sko));%вычисление коэффициента
        ↪ корреляции
99         kor(k)=kor1(k);
100     end
101     xx=1:k;
102     xi=1:0.1:k;
103     yint=interp1(xx,kor,xi,'spline');% сплайн-интерполяция коэф
        ↪ корреляции
104     r1=kor;
105     %следующие 5 строк - отображение графика функции коэф.
        ↪ корреляции/
106     %коэф. Минковского/коэф. Поддорогина от сдвига эталонов
107     %график получен с помощью ф-и сплайн-аппроксимации spars
108     apr=spars(xkor,kor,0.000001);
109     figure
110     fnplt(apr)
111     hold on

```

```

112         plot(xkor,r1,'ro')
113         hold off
114
115         cmax=max(yint); %нахождение максимума функции коэф. корр./ковар.
116 %         cmax=min(yint); %нахождение минимума функции коэф. Минковского
117         for i=1:round((k-1)/0.1+1)
118             if (yint(i)==cmax)
119                 dt_int=dt-dt*search_area+(i-1)*shagkor/10; %уточненное
120                     ↪ значение врем.задержки по MAX функции коэф. корр.
121             end
122         end
123         dt=dt_int;
124         search_area=search_area/2;
125     end
126 dt_acm=dt% %оценка времени задержки по методу АКМ
127 dt_ma=shiftmax %оценка времени задержки по методу максимума амплитуды
128     ↪ (MA)
129 err_acm= abs(dt-shift)/shift*100
130 err_ma=abs(dt_ma-shift)/shift*100
131
132 pause;
133 close all; %заккрытие окон графического вывода
clear; %очистка Workspace

```