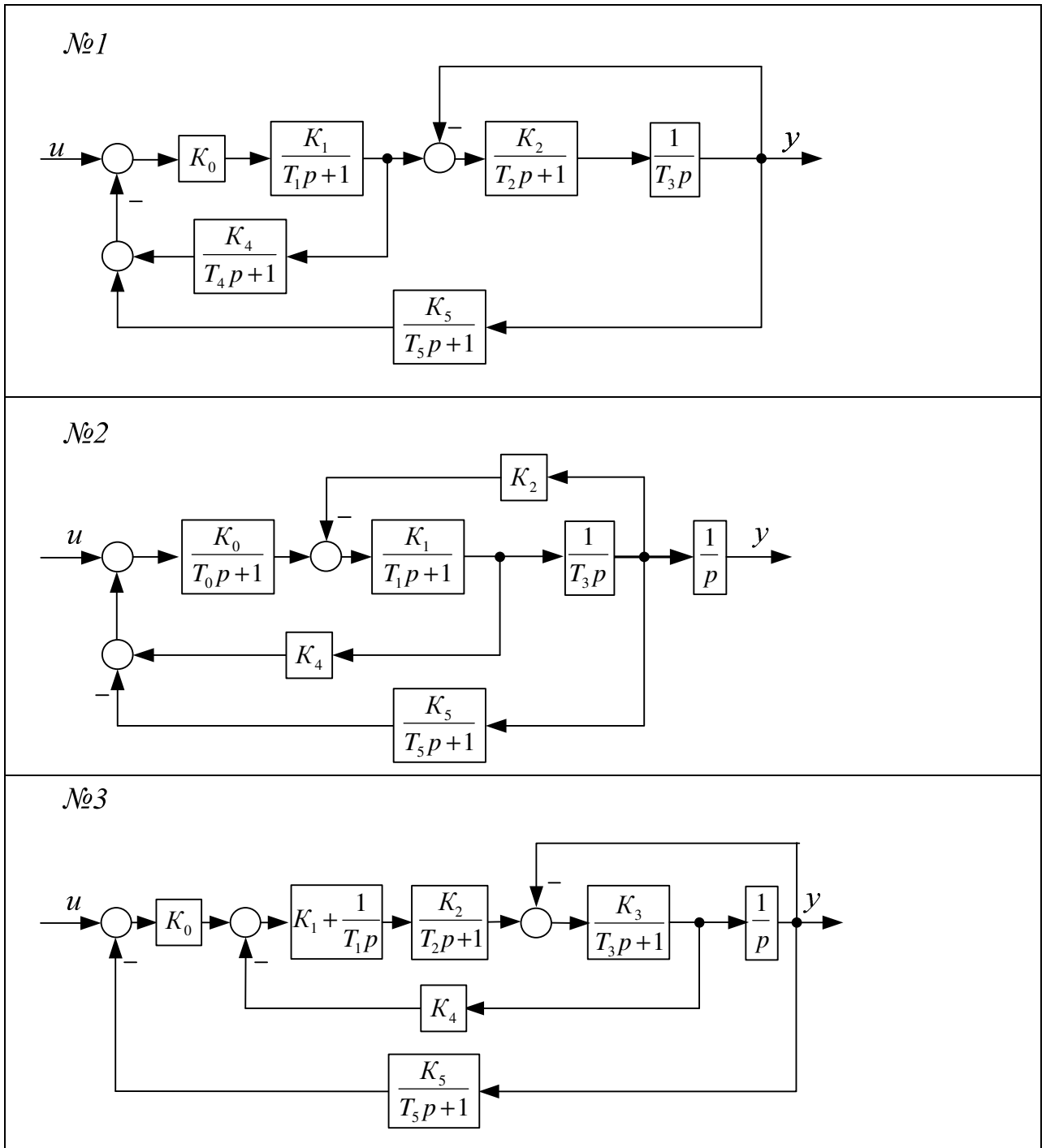
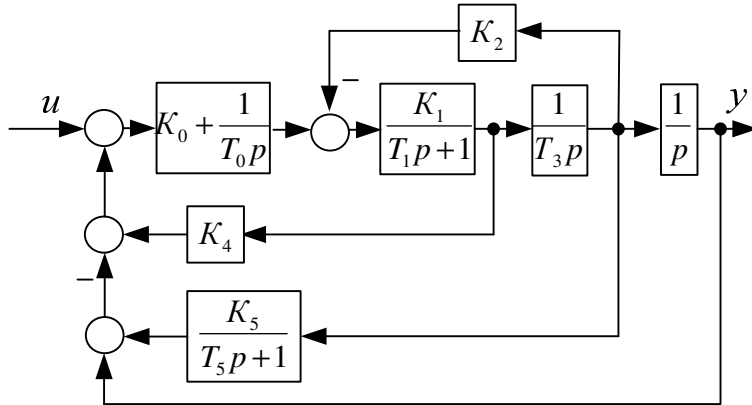


Додаток 1

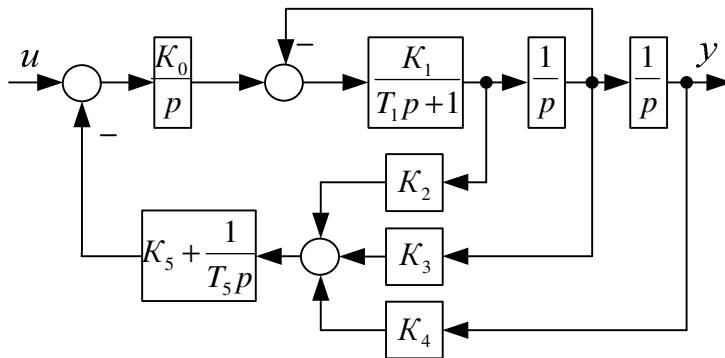
Структурні схеми систем автоматичного управління



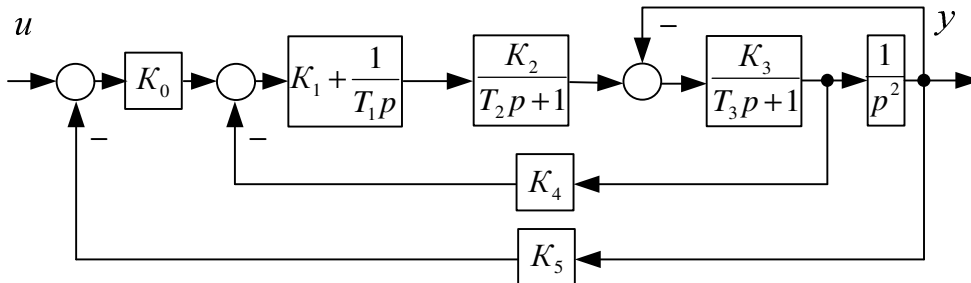
№4



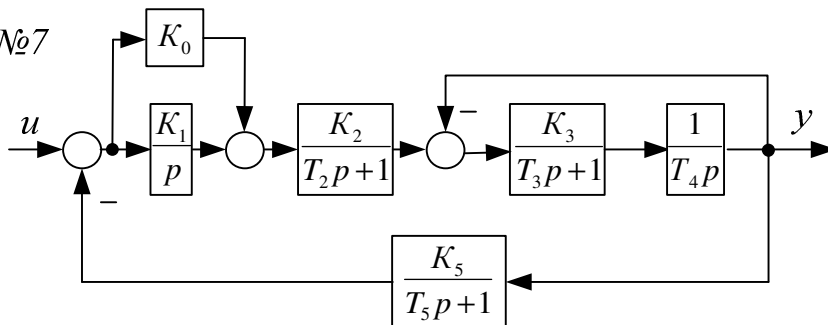
№5



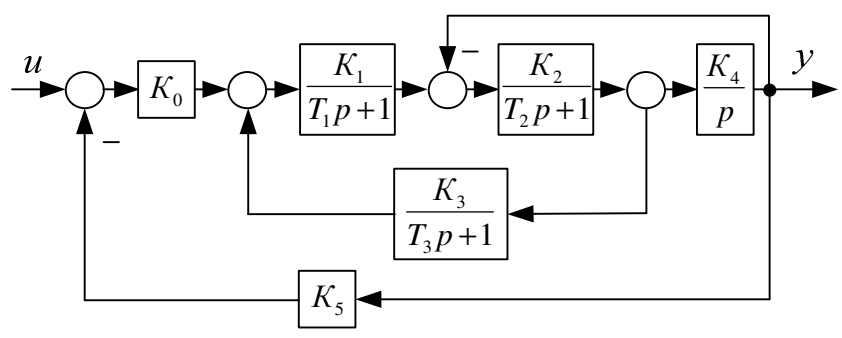
№6



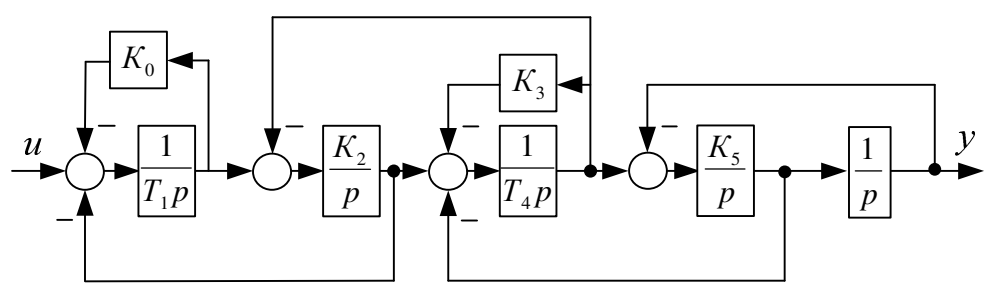
№7



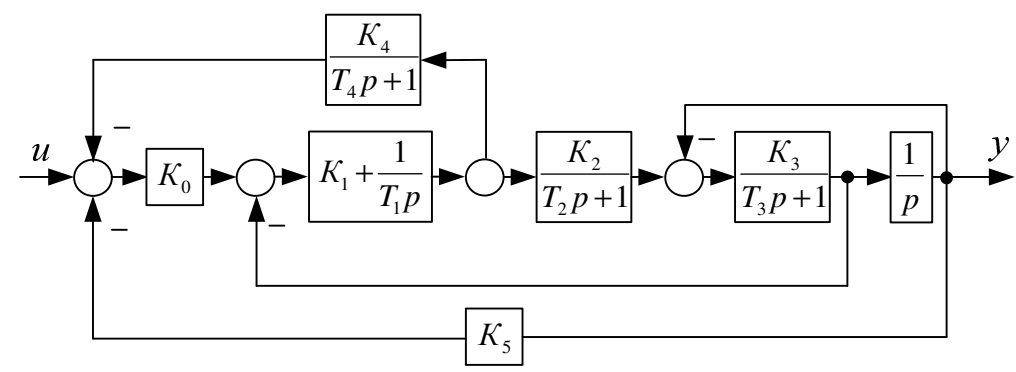
№8



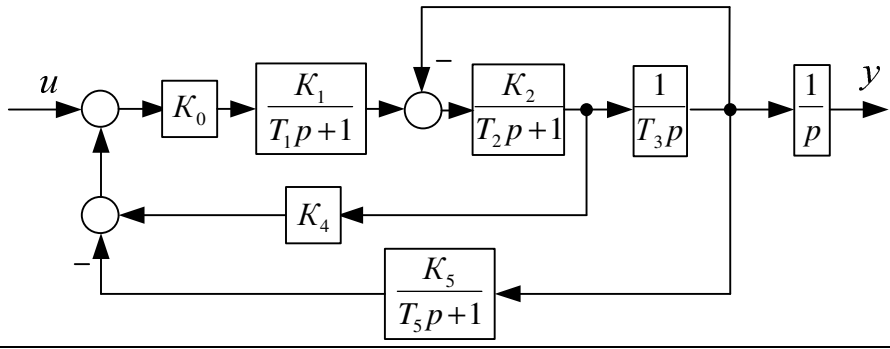
№9



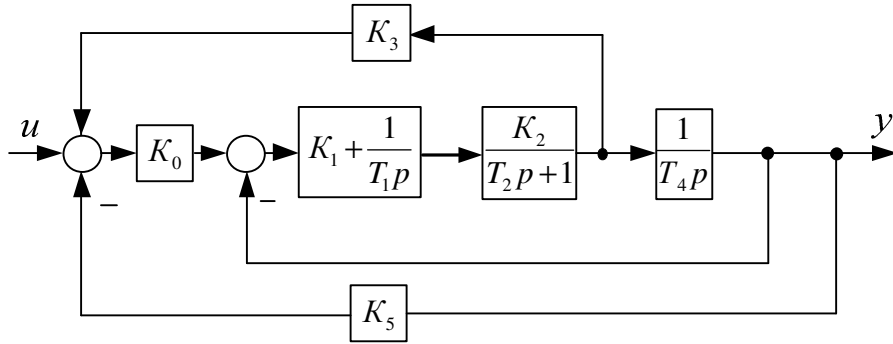
№10



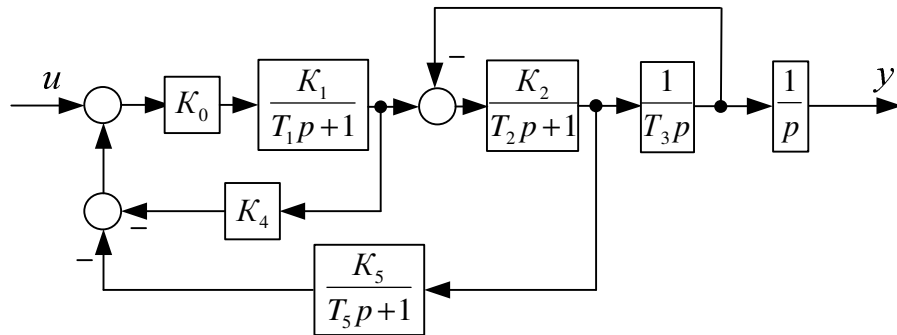
№11



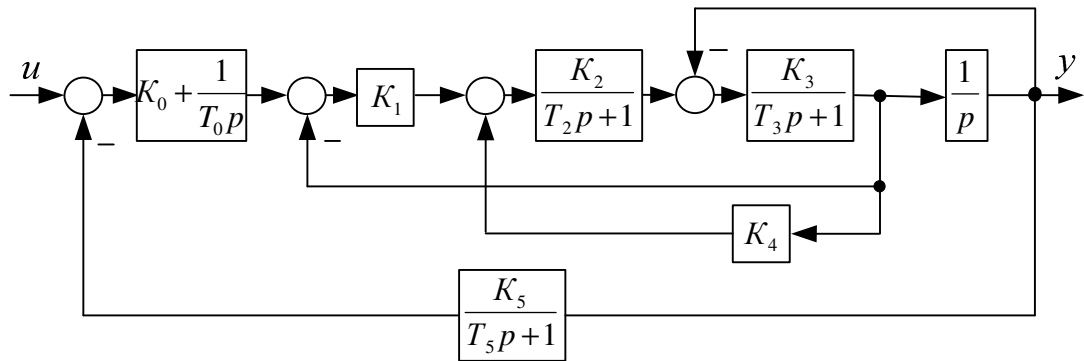
№12



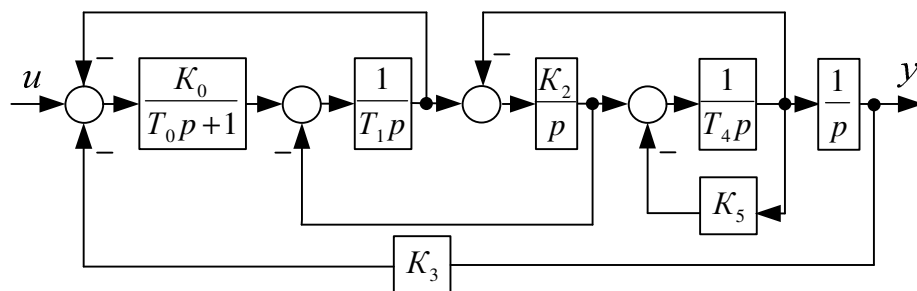
№13



№14



№15



Додаток 2

Параметри структурної схеми САУ

Варі- ант	№ схе- ми	Параметри ланок структурної схеми											
		K ₀	T ₀	K ₁	T ₁	K ₂	T ₂	K ₃	T ₃	K ₄	T ₄	K ₅	T ₅
1	15	7.3	0.2	-	0.2	4.0	-	0.5	-	-	0.2	0.7	-
2	13	5.0	-	1.0	0.2	4.1	0.8	-	0.3	0.2	-	0.1	0.2
3	11	0.4	-	0.4	1.0	2.2	0.6	-	2.3	0.1	-	2.0	0.1
4	9	0.5	-	-	0.4	2.5	-	1.5	-	-	0.5	5.7	-
5	7	1.4	-	1.0	-	8.7	0.1	0.7	0.2	-	2.5	0.5	0.1
6	5	0.3	-	7.7	0.3	3.6	-	1.5	-	8.1	-	9.0	0.8
7	3	4.8	-	2.5	0.1	0.5	0.2	0.6	0.1	1.5	-	1.5	0.2
8	1	10	-	7.1	0.5	5.0	0.1	-	2.0	0.5	0.2	0.3	0.1
9	2	2.1	0.5	1.5	0.3	0.8	-	1.0	1.0	0.1	-	0.5	0.1
10	4	3.8	0.2	7.7	1.3	70	-	-	0.4	1.2	-	2.0	0.3
11	6	0.1	-	9.5	0.2	2.5	0.5	0.8	0.3	0.1	-	0.3	-
12	8	1.2	0.1	9.5	0.5	1.0	0.1	0.5	0.1	2	-	0.1	-
13	10	2.7	-	3.5	1.0	2.7	1.3	4.8	0.7	0.3	1.5	0.5	-
14	12	5.2	-	0.7	1.0	5.3	0.7	0.1	-	-	2.5	0.1	-
15	14	1.1	3.0	0.9	-	3.5	0.2	1.2	0.7	0.1	-	3.6	0.1
16	15	2.1	0.3	-	0.6	8.5	-	1.7	-	-	0.4	0.1	-
17	13	2.7	-	1.5	1.7	8.3	2.9	-	0.7	0.5	-	0.2	0.1
18	11	0.7	-	0.3	0.4	1.6	1.2	-	0.4	0.2	-	2.6	0.1
19	9	0.2	-	-	0.6	7.5	-	0.6	-	-	0.8	0.9	-
20	7	7.5	-	1.0	-	3.2	0.2	9.5	0.1	-	0.5	8.2	0.2
21	5	0.1	-	2.1	0.5	5.1	-	7.5	-	3.9	-	5.0	0.6
22	3	1.8	-	8.5	0.5	1.5	0.3	0.5	0.5	5.0	-	9.5	0.1
23	1	2.1	-	5.0	0.2	10	0.3	-	0.5	3.0	0.8	0.1	0.5
24	2	0.5	0.8	0.7	0.1	1.5	-	1.0	0.2	0.5	-	8.5	0.1
25	4	12	0.1	0.1	0.5	100	-	-	0.5	0.1	-	4.6	0.1
26	6	0.2	-	7.5	0.1	2.5	0.1	5.0	0.7	0.2	-	0.2	-
27	8	6.9	0.3	4.1	0.7	7.3	0.2	3.8	0.5	3.3	-	0.2	-
28	10	2.5	-	2.9	1.0	9.5	1.4	9.5	0.4	0.1	0.2	1.0	-
29	12	0.2	-	0.2	1.0	5.3	0.2	0.2	-	-	1.1	0.1	-
30	14	2.8	2.0	1.8	-	7.5	0.6	7.2	0.2	0.2	-	3.6	0.1

Додаток 3

Програма оцінювання експоненціального згладжування значень поточних координат та параметрів переміщень руху ОУ

```
% Початкові дані
Noc=[9 25 51 101 151 201 301 401 501]';
Type_V=3; % рух ОВ 1 - з постійною швидкістю 2 - стрибкоподібна
змiна швидкостi вiд 0 до макс значення
% 3 - перемiщення на задану вiдстань (для 3 час
спостереження 200 с)
FK_P=4; % порядок матриць для фiльтра Калмана min 3
EKS_P=2; % кiлькiсть попереднiх значення для експоненцiального
згладжування
ksi=0.7; % коефiцiєнт згладжування
jjj=4; % виведення графiкiв параметрiв руху для Noc=jjj
FKMean=100; % усереднення вiдлiкiв для оцiнки точностi ФК
v=20; % максимiльна швидкiсть, мм/с
a_max=1; % максимiльна швидкiсть, мм/с^2
x0=0; % початкова координата ОВ ФК
v0=v; % початкова швидкiсть ОВ ФК
a0=a_max; % початкове прискорення ОВ ФК
PARAM=[x0 v0 a0 0 0 0];
dt1=0.04; % крок дискретностi
t1=(0:dt1:100)'; % час спостереження
SigmaNoise=0.6/sqrt(3); % СКЗ шуму вимiрювань координати
Sigma_Dist_x=0%3.33; % СКЗ збурень координати 5%
Sigma_Dist_v=0%1.67; % СКЗ збурень швидкостi 5%
Sigma_Dist_a=0; % СКЗ збурень прискорення
Sigma_Dist_x0=0%0.1; % СКЗ початкових умов координати ФК
Sigma_Dist_v0=0%0.1; % СКЗ початкових умов швидкостi ФК
Sigma_Dist_a0=0%0.0001; % СКЗ початкових умов прискорення ФК
TWx=0.12; TWv=0.12; % постiйнi часу (секунд) аперiодичної ланки для
фiльтрацiї збурень - корельованi збурення
Tu=1; % постiйнi часу (секунд) аперiодичної ланки 2-го порядку для
фiльтрацiї упр сигналу - врахування iнерцiйностi ОВ
randn('state',0);

% Математична модель руху неперервного ОВ 2-го порядку - неперервна система
2-го порядку
% в просторi стану. Вхiд - швидкiсть i прискорення. Збурення по входу - для
швидкостi i прискорення
% Моделюються рiвноприскорений рух (U1=0 U2=a(t)) i рiвномирний рух (U1=v(t)
U2=0)
% dX/dt=AX+BU+GW
% Y= CX+DU+HW+V
% U (вiдсутнiй) - вхiд Y (позначення в роздiлi 4 xi*) - вихiд=поточнiй
координати ОВ
% X (Z) - внутрiшнiй стан системи координата швидкiсть
% W (Lamnda Greek) - збурення в системi швидкостi прискорення - це ще 2 входи
% V (Delta Greek x) - шум вимiрювань виходу тобто поточної координати ОВ
Z0=[x0; 0]; % початковий стан системи координата швидкiсть
A=[0 1 % матрицi системи в просторi стану
0 0];
B=[1 0 % 1 0 - задання швидкостi ОВ
0 0]; % 0 0
G=[1 0 % G (P Greek) - вхiднi збурення в системi -швидкiсть
0 0];
```

```

C=[1 0]; % H - матриця вимірювань формує вихід з першого елемента вектора
стану тобто поточної координати
D=[0 0]; % вхід не впливає на вихід
H=[0 0]; % збурення на вихід не діють
[t1M,t1N] = size(t1);
U=zeros(t1M,2); % вхід=0
W=zeros(t1M,2); % Lamnda Greek=0 - збурення в системі швидкість і
прискорення
V=zeros(t1M,1); % Delta Greek xi шум вимірювань координати
OV_CTime=ss(A, [B G],C, [D H]); % ОВ в просторі стану

% Моделювання неперервної системи 2-го порядку
if Type_V==1 % вхідна швидкість
    U(:,1)=v; U(:,2)=0; % швидкість та прискорення
end;
if Type_V==2 % вхідна швидкість
    U(:,1)=v; U(1:1000,1)=0; U(:,1)=lsim(tf([1],[Tu^2 2*Tu 1]),U(:,1),t1);
end;
if Type_V==3 % вхідна швидкість
    U(:,1)=v; U(1:500,1)=0; U(2000:2500,1)=0;
    for iii=1:500 U(iii,1)=v*iii/500; end;
    for iii=1:500 U(iii+2000,1)=v*(500-iii)/500; end;
    U(:,1)=lsim(tf([1],[Tu^2 2*Tu 1]),U(:,1),t1);
end;
for i=2:t1M-1
    U(i,2)=(U(i+1,1)-U(i-1,1))/2/dt1; % прискорення
end;
U(t1M,2)=U(t1M-1,2);
W(:,1)=randn(t1M,1).*(Sigma_Dist_v); % Lamnda Greek=0 - збурення в системі
швидкість
SysWx=tf([1],[TWx 1]); Wx=lsim(SysWx,randn(t1M,1).*(Sigma_Dist_x),t1);
SysWv=tf([1],[TWv 1]); W(:,1)=lsim(SysWv,W(:,1),t1);
V=randn(t1M,1).*(SigmaNoise)+Wx; % шум вимірювань координати і збурення
координати
[Y,t2,X]=lsim(OV_CTime,[U W],t1,Z0); % моделювання - вихід (координата) і
вектор стану (координата і швидкість)
% figure; plot(t1,W(:,1),'g', t1,V,'m');
% title('Noise CTime System: Wl=v g, V m');
% figure; plot(t2,Y,'k', t2,Y+V,'g', t2,U(:,1),'k', t2,U(:,1)+W(:,1),'g'); %
для рівномірного руху
% title('Output and State Vector CTime System: Y=x, k Y+V=x+v g, U1=v k,
U1+W1=v+w g');

% Математична модель для вимірювань за відеозображеннями
% дискретна система в просторі стану
%  $x[n+1] = Ax[n] + Bu[n] + Gw[n]$ 
%  $y[n] = Cx[n] + Du[n] + Hw[n] + v[n]$ 
% U (відсутній) - вхід=0 Y (позначення в розділі 4 xi*) - вихід=поточній
координаті ОВ
% X (Z) - внутрішній стан системи координати швидкість прискорення
% W (Lamnda Greek) - збурення в системі координати швидкості прискорення - це
ще 3 входи додатково до U
% V (Delta Greek x) - шум вимірювань виходу тобто поточної координати ОВ
% початковий стан системи координата швидкість прискорення
ZD0=zeros(1,FK_P);
for i=1:FK_P
    ZD0(i)=PARAM(i);
end;
% матриці системи в просторі стану
% A (F Greek) - неперервна модель рівноприскореного руху ОВ
A_=zeros(FK_P, FK_P);
for i=1:FK_P

```

```

    for j=i:FK_P
        A_(i,j)=dt1^(j-i)/factorial(j-i);
    end;
end;
BD=zeros(FK_P,1); % вхід відсутній
GD=A_; % G (P Greek) - передача збурень в системі
CD=zeros(1,FK_P); CD(1)=1; % H - матриця вимірювань формує вихід з першого
елементу вектора стану тобто поточної координати
DD=[0]; % вхід відсутній
HD=zeros(1,FK_P); % збурення на вихід не діють
[t1M,t1N] = size(t1);

% Дискретний фільтр Калмана для відеозображень
ZD=zeros(FK_P,t1M); GI=zeros(FK_P,t1M); P=zeros(FK_P,FK_P,t1M);
I3_3=zeros(FK_P,FK_P);
for i=1:FK_P
    I3_3(i,i)=1;
end;
ZD(:,1)=ZD0;
QN=zeros(FK_P,FK_P);
if FK_P>=1 QN(1,1)=Sigma_Dist_x^2; end;
if FK_P>=2 QN(2,2)=Sigma_Dist_v^2; end;
if FK_P>=3 QN(3,3)=Sigma_Dist_a^2; end;
P=zeros(FK_P,FK_P);
for i=1:FK_P
    for j=1:FK_P
        P(i,j)=ZD(i)*ZD(j);
    end;
end;
if FK_P>=1 P(1,1)=P(1,1)+Sigma_Dist_x0^2; end;
if FK_P>=2 P(2,2)=P(2,2)+Sigma_Dist_v0^2; end;
if FK_P>=3 P(3,3)=P(3,3)+Sigma_Dist_a0^2; end;
for i=2:t1M
    Pil=A_*P(:,:(i-1))*A_'+GD*QN*GD';
    GI(:,i)=Pil*CD'*(CD*Pil*CD'+SigmaNoise^2)^(-1);
    ZD(:,i)=A_*ZD(:,i-1)+GI(:,i)*(Y(i)+V(i)-CD*(A_*ZD(:,i-1)));
    P(:,:(i))=Pil*(I3_3-GI(:,i)*CD);
end;

% експоненційне згладжування
ZDEKS=zeros(3,t1M);
for i=EKS_P+1:t1M
    ZDEKS(1,i)=(1-ksi)*(Y(i)+V(i)); % згладжування по координаті
    %ZDEKS(2,i)=(1-ksi)*ZDDIFRV(2,i,jjj); %згладжування по швидкості
    %ZDEKS(3,i)=(1-ksi)*ZDDIFRV(3,i,jjj); %згладжування по прискоренню

for j=1:EKS_P
    ZDEKS(:,i)=ZDEKS(:,i)-ksi.*(-1).^j.*EKS_P./j.*ZDEKS(:,i-j);
end;
end;

% Оцінка похибок
DZDFull=zeros(3,t1M,size(Noc,1));
DZDEKS=zeros(3,t1M);

for j=1:size(Noc,1)
    DZDFull(1,:,j)=ZD(1,:)-Y'; DZDFull(2,:,j)=ZD(2,:)-U(:,1)';
    DZDFull(3,:,j)=ZD(3,:)-U(:,2)';
end;
DZDEKS(1,:)=ZDEKS(1,:)-Y'; DZDEKS(2,:)=ZDEKS(2,:)-U(:,1)';
DZDEKS(3,:)=ZDEKS(3,:)-U(:,2)';

if Type_V==1

```



```

DZD=zeros(3,FKMean+1,size(Noc,1));
for j=1:size(Noc,1)
    DZD(:,j)=DZDFull(:,Noc(j):Noc(j)+FKMean,j);
end;
else
DZD=zeros(3,size(U,1)-510,size(Noc,1));
for j=1:size(Noc,1)
    DZD(:,j)=DZDFull(:,Noc(j):size(U,1)-510+Noc(j)-1,j);
end;
DZD=DZDFull(:,510:size(U,1)-510,:);
end;

DZDEKS=DZDEKS(:,510:size(U,1)-510);
DZD_Max1=zeros(size(Noc,1),1); DZD_Max2=zeros(size(Noc,1),1);
DZD_Max3=zeros(size(Noc,1),1);
DZD_Std1=zeros(size(Noc,1),1); DZD_Std2=zeros(size(Noc,1),1);
DZD_Std3=zeros(size(Noc,1),1);
for j=1:size(Noc,1)
    DZD_Max1(j)=max(abs(DZD(1,:,j))); DZD_Max2(j)=max(abs(DZD(2,:,j)));
DZD_Max3(j)=max(abs(DZD(3,:,j)));
    DZD_Std1(j)=std(DZD(1,:,j)); DZD_Std2(j)=std(DZD(2,:,j));
DZD_Std3(j)=std(DZD(3,:,j));
end;

DZDEKS_Max1=zeros(size(Noc,1),1); DZDEKS_Max2=zeros(size(Noc,1),1);
DZDEKS_Max3=zeros(size(Noc,1),1);
DZDEKS_Std1=zeros(size(Noc,1),1); DZDEKS_Std2=zeros(size(Noc,1),1);
DZDEKS_Std3=zeros(size(Noc,1),1);
DZDEKS_Max1(:)=max(DZDEKS(1,:)); DZDEKS_Max2(:)=max(DZDEKS(2,:));
DZDEKS_Max3(:)=max(DZDEKS(3,:));
DZDEKS_Std1(:)=std(DZDEKS(1,:)); DZDEKS_Std2(:)=std(DZDEKS(2,:));
DZDEKS_Std3(:)=std(DZDEKS(3,:));

% Теретичний розрахунок похибок
% Фільтр Калмана
DZD_StdTx=zeros(size(Noc,1),1); DZD_StdTv=zeros(size(Noc,1),1);
DZD_StdTx(:)=sqrt(SigmaNoise*dt1*sqrt(2*Sigma_Dist_a*SigmaNoise+Sigma_Dist_v^
2));
DZD_StdTv(:)=sqrt(Sigma_Dist_a*dt1*sqrt(2*Sigma_Dist_a*SigmaNoise+Sigma_Dist_
v^2));
%DZD_StdTa(:)=0;
figure; % графіки параметрів руху для Noc=jjj
plot(t1,Y,'b',t1,Y+V,'g',t1,ZD(1,:),'r',t1,ZDEKS(1,),'c');
xlabel('Час, c'); ylabel('Координата, мм');
grid on;

% графіки похибок параметрів руху
figure;
plot(Noc*dt1,DZDEKS_Std1,'m-',Noc*dt1,DZD_Std1,'b-.','LineWidth',3);
xlabel('Кількість відліків координати'); ylabel('СКЗ похибки, мм');
grid on;

```