Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут математики, економіки і механіки
(повне найменування інституту/факультету)

Кафедра оптимального керування та економічної кібернетики
(повна назва кафедри)

Дипломна робота

бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Динамічні процеси в соціальних мережах»

«Dynamic processes in social networks»

Виконала: студентка денної форми навчання
напряму підготовки 6.040301 Прикладна математика
Мальчик Катерина Ігорівна
Керівник: д. ф-м. н., проф., Плотніков А.В
Рецензент: к. ф-м. н., Страхов Є.М.

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
№ ___ від ______________ р.

Завідувач кафедри

________ ____________________
(підпис) (прізвище, ініціали)

Захищено на засіданні ЕК №_______
протокол № ____ від ____________ р.
Оцінка_____________/___ ___/_____
(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Голова ЕК

__________ ____________________
(підпис) (прізвище, ініціали)

Одеса – 2017

Odessa I. I. Mechnikov National University

Institute of Mathematics, Economics and Mechanics

Department of Optimal Control and Economic Cybernetics

Diploma thesis

Bachelor

«Dynamic processes in social networks»

Fulfilled by: full time student
specialty 6.040301 Applied mathematics
Malchyk Kateryna Igorivna
Supervisor: D. Sc. In Ph. and Math, prof. Plotnikov A.V.
Reviewer: PhD in Ph. and Math, Strakhov Ye. M.

Odessa 2017

CONTENTS

ВСТУП

У наш час соціальні мережі стали невід'ємною частиною повсякденного буття. Вони широко використовуються, як структура, у численних наукових роботах та мають перспективи у подальших дослідженнях. У роботі, до нашої уваги буде представлена динаміка розповсюдження інформації в соціальних мережах. Вона, наприклад, описує, як швидко поширюються новини та події у Світі або допомагає у розповсюдженні реклами, широко використовуються у захисті інформації. У таких сферах, як соціологія та еволюційна психологія, здатна пояснити особливості людської поведінки.

Розповсюдження думок та інформації у соціальних мережах дуже схоже з еволюційними процесами екологічних систем[8]. Саме тому, для вивчення на аналізу динамічних процесів у соціальних мережах ми спираємось на теорію еволюційної динаміки, а саме еволюційних ігор на графі. У основній частині розглядається дві еволюційні гри «Камінь-ножиці-папір» та «Дилема ув'язненого». Вони є дуже широко розповсюдженими, як типові моделі еволюційної динаміки у вивченні людської поведінки та у розповсюдженні думок у соціумі.

Для кожної гри вивчається динаміка в однорідній популяції на повному графі та динаміка з трьома різними правилами «обновлення». Такими як, «народження-смерть», «смерть-народження» та «імітація», однак ці правила застосовуються для динаміки на регулярному графі з фіксованої кількістю сусідів.

Для описання еволюційних процесів я використовувала рівняння-реплікатор, одне з фундаментальних рівнянь еволюційної динаміки. Воно описує еволюцію частот стратегій у популяції. У результаті досліджень ми знаходили положення стабільності та рівновагу Неша, приводили графіки динаміки популяцій та аналізували їх на стабільність.

Гру «Камінь-ножиці-папір», як еволюційну, нерідко беруть за модель при вивченні екологічних процесів. Біологи використовують дитячу гру, як модель, для опису взаємовідносин між видами. Математично описується рівнянням-репликатором и записується у вигляді системи нелінійних диференційних рівнянь. «Дилема ув’язненого» одна з найбільше вивчених ігор, яка описує альтруїстичні відносини між організмами та динаміку людської поведінки.

Графічне зображення динаміки розповсюдження інформації , говорить нам про стан еволюційної динамічної системи у цілому. На графіках проілюстровано фазові портрети, де фазова траєкторія та точка центральної рівноваги указують на характер стабільності системи у випадку однорідної популяції та правил «обновлення». У висновках ми аналізуємо отримані результати, порівнюємо їх теоретичними матеріалами та з вже вивченими моделями, підбиваємо підсумки наших досліджень.

RESEARCH RESULTS

- The evolution process of decision – spreading in social networks was build, using evolutionary games theory and updating rules for evolutionary dynamics.

- The decision – spreading dynamic in a 'well- mixed' population could be described by equation:

$$\dot{x} = x_i(f_i - \varphi),$$
$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1\,; f_i = \sum_{j=1}^{n} x_j a_{ij};\ \varphi = \sum_{i=1}^{n} x_i f_i;\ i = 1 \dots n$$

- In a regular graph of degree k – by equation:

$$\dot{x} = x_i[\sum_{i=1}^{n} x_j(a_{ij} + b_{ij}) - \varphi)];$$

- We described two models based on "Prisoner's Dilemma" and "Rock-Scissors-Paper" game and used three different update rules for the evolutionary dynamics, which based on the rules of copying the most successful individuals from the entire population.

- Moving evolutionary game dynamic from a well-mixed population onto a structured population of degree k is simply described by a transformation only the payoff matrix.

- The model of decision-making dynamic process was described through "Prisoner's dilemma". We built an evolution process and compared our experimental results with results by [4]. Where 'Defection' always win 'Cooperation' in well-mixed population and in population with BD updating. In contrast, stability was changed in DB and IM updating. In PD model we could fix a ESS, the situation where everybody defect and that also a Nash equilibrium. It means that is not optimal for players change an optimal strategy to another strategy and dynamic of the system stay stable when one of the players decide to change behavior to “Cooperation”.

- The evolutionary dynamic model of opinion-spreading process was derived based on RSP game. We built an evolution process and compared our experimental results with results by [4]. In addition, we graphically illustrated the dynamic of evolution process in homogenous population comparing to structured population with degree *k*. As could be observed, that internal equilibrium in WM and BD is unstable without reference to *k*. In DB and IM, the IE of the system becomes a global attractor of the dynamics. However, if $k > 5$, the IE is changed and becomes unstable. The internal equilibrium of evolutionary dynamic process are not coincided with Nash equilibrium of a static game.

- In conclusion, if density of neighbors of social networks on the graph is large enough, the equilibrium state is not stable. The consequences spread quickly, even with small amount changes in decisions. However, there is very effective opinion-spreading method, which does not exist with small amounts of ‘friends’ in social network.

REFERENCES

1. Danielle,F.P. Toupo , Steven.H.Strogatz,“Nonlinear Dynamics of the Rock-Paper_Scissors Game with Mutations”, 2015, (p. 1-6);
2. Arrowsmith D. K., Place C. M., 1982. "Ordinary Differential Equations" Westfield College, London;
3. Hisashi Ottsuki, Martin A. Nowak, “The replicator equation on graphs”, 2006, Journal of Theoretical Biology, (p. 87-97);
4. Hofbauer, J., Sigmund, K., 1998. “Evolutionary Games and Population Dynamics.” Cambridge University Press, Cambridge.
5. Martin A. Nowak, 2006, “Evolutionary dynamics: exploring the equations of life “;
6. L. A. Petrosyan, N.A. Zenkevich, E.A. Semina, "Game Theory";-M.: Vyissh.Shk., Knizhnyiy dom «Universitet»,1998. - 304 p.
7. Smith, John Maynard, 1982 “Evolution and the theory of games.” Cambridge University Press, Cambridge

APPENDIX A

```
function WM
[T1 M1]=ode45(@wm3,[0,4], 0.0);
[T2 M2]=ode45(@wm3,[0,4], 1.0);
[T3 M3]=ode45(@wm3,[0,4], 0.9);
[T4 M4]=ode45(@wm3,[0,4], 0.1);
[T5 M5]=ode45(@wm3,[0,4], 0.4);
%[T2 M]=ode45(@wm3,[0,4], 1);
X1=M1(:,1);
X2=M2(:,1);
X3=M3(:,1);
X4=M4(:,1);
X5=M5(:,1);
subplot(2,2,1),
%figure(1),
plot(T1,X1,'m-','LineWidth',3);hold
on; plot(T2,X2,'r-
','LineWidth',3);hold
on;plot(T3,X3);hold
on;plot(T4,X4);plot(T5,X5);
title('well-mixed');

function du = wm3( t,u )
x = u(1);
%y = u(2);
k = 3;
c =3;
du = zeros(1,1);
du(1) = x*(1-x)*(-c);
end

[T1 M1]=ode45(@bd3,[0,2], 0.0);
[T2 M2]=ode45(@bd3,[0,2], 1.0);
[T3 M3]=ode45(@bd3,[0,2], 0.9);
[T4 M4]=ode45(@bd3,[0,2], 0.1);
[T5 M5]=ode45(@bd3,[0,2], 0.4);
X1=M1(:,1);
X2=M2(:,1);
X3=M3(:,1);
X4=M4(:,1);
X5=M5(:,1);
subplot(2,2,2),
%figure(2),
plot(T1,X1,'m-','LineWidth',3);hold
on; plot(T2,X2,'r-
','LineWidth',3);hold
on;plot(T3,X3);hold
on;plot(T4,X4);plot(T5,X5);
title('birth-death');

function du = bd3( t,u )
x = u(1);
c = 6;
k = 30;
du = zeros(1,1)
du(1) = x*(1-x)*(-c)*k/(k-2);
end

[T1 M1]=ode45(@db3,[0,2], 0.0);
[T2 M2]=ode45(@db3,[0,2], 1.0);
[T3 M3]=ode45(@db3,[0,2], 0.9);
[T4 M4]=ode45(@db3,[0,2], 0.1);
[T5 M5]=ode45(@db3,[0,2], 0.4);
X1=M1(:,1);
X2=M2(:,1);
X3=M3(:,1);
X4=M4(:,1);
X5=M5(:,1);
subplot(2,2,3),
%figure(3),
plot(T1,X1,'m-','LineWidth',3);hold
on; plot(T2,X2,'r-
','LineWidth',3);hold
on;plot(T3,X3);hold
on;plot(T4,X4);plot(T5,X5);
title('death-birth');
function du = db3( t,u )
x = u(1);
%y = u(2);
k = 3;
c = 6;
b = 10;
du = zeros(1,1);
du(1) = x*(1-x)*(b-k*c)*k/((k+1)*(k-
2));
end

[T1 M1]=ode45(@im3,[0,2], 0.0);
[T2 M2]=ode45(@im3,[0,2], 1.0);
[T3 M3]=ode45(@im3,[0,2], 0.9);
[T4 M4]=ode45(@im3,[0,2], 0.1);
[T5 M5]=ode45(@im3,[0,2], 0.4);
X1=M1(:,1);
X2=M2(:,1);
X3=M3(:,1);
X4=M4(:,1);
X5=M5(:,1);
subplot(2,2,4),
plot(T1,X1,'m-','LineWidth',3);hold
on; plot(T2,X2,'r-
','LineWidth',3);hold
on;plot(T3,X3);hold
on;plot(T4,X4);plot(T5,X5);
title('imitation');
function du = im3( t,u );
x = u(1);
k = 3;
c = 6;
b = 10;
du = zeros(1,1);
du(1) = x*(1-x)*(b-
(k+2)*c)*k/((k+3)*(k-2));
end
end
```

APPENDIX B

$$\begin{cases} x_1 = \dfrac{378k^{10} + 2550k^9 + 2770k^8 - 17108k^7 - 63434k^6 - 44970k^5 + 260862k^4 + 456840k^3 - 474120k^2 - 738720k + 590976}{594k^{10} + 3894k^9 + 7748k^8 + 3640k^7 - 22208 * k^6 - 108697k^5 - 135342k^4 + 83880k^3 + 320031k^2 + 248508k - 434484} \\ x_2 = \dfrac{126k^{10} + 738k^9 + 1630k^8 + 948k^7 - 8343k^6 - 23062k^5 - 14220k^4 + 10080k^3 + 118611k^2 + 129276 * k - 240084}{594k^{10} + 3894k^9 + 7748k^8 + 3640k^7 - 22208k^6 - 108697k^5 - 135342k^4 + 83880k^3 + 320031k^2 + 248508k - 434484}; \\ x_3 = \dfrac{252k^{10} + 2064k^9 + 7971k^8 + 15435k^7 - 3750k^6 - 84366k^5 - 166881k^4 - 47421k^3 + 369684k^2 + 301644k - 369360}{594k^{10} + 3894k^9 + 7748k^8 + 3640k^7 - 22208k^6 - 108697k^5 - 135342k^4 + 83880k^3 + 320031k^2 + 248508k - 434484} \end{cases} ;$$

APPENDIX C

```
syms x1 x2 x3 k ;
%k = 3;
%birth-death
X = [x1; x2; x3];
A = [0 (-1-6/(k-2)) (4+3/(k-2));
    (1 + 6/(k-2)) 4 (-4/(k-2));
    (-1-3/(k-2)) (6+4/(k-2)) 2];
B = A*X;
P =(3.*x1.*x2 + 6.*x2.*x3 + 4.*x2.*x2 +2*x3*x3);
F1 = X .* (B - P);
sol1 = solve(F1);
sol1.x1
sol1.x2
sol1.x3
%well-mixed
sol = solve('-x2 + 4*x3 - (3.*x1.*x2 - 6.*x2.*x3 - 4.*x2.*x2 -
2*x3.*x3)','x1+4*x2 -(3.*x1.*x2 + 6.*x2.*x3 + 4.*x2.*x2 +2*x3.*x3)','-x1+6*x2
+2*x3 -(3.*x1.*x2 + 6.*x2.*x3 + 4.*x2.*x2 +2*x3.*x3)');
%death-birth
X = [x1; x2; x3];
A = [0 (-1-(2+4*(k+1))/((k+1)*(k-2))) (4+(5-2*(k+1))/((k+1)*(k-2)));
    (1 + (2+4*(k+1))/((k+1)*(k-2))) 4 ((-6+2*(k+1))/((k+1)*(k-2)));
    (-1+(2*(k+1)-5)/((k+1)*(k-2))) (6+(6-2*(k+1))/((k+1)*(k-2))) 2];
B = A*X;
P =(3.*x1.*x2 + 6.*x2.*x3 + 4.*x2.*x2 +2*x3*x3);
F2 = X .* (B - P);
sol2 = solve(F2);

%imitation
X = [x1; x2; x3];
A = [0 (-1-(6+4*(k+3))/((k+3)*(k-2))) (4+(15-2*(k+3))/((k+3)*(k-2)));
    (1 + (6+4*(k+3))/((k+3)*(k-2))) 4 (-(-18+2*(k+3))/((k+3)*(k-2)));
    (-1+(2*(k+3)-15)/((k+3)*(k-2))) (6+(18-2*(k+3))/((k+3)*(k-2))) 2];
B = A*X;
P =(3.*x1.*x2 + 6.*x2.*x3 + 4.*x2.*x2 +2*x3*x3);
F3 = X .* (B - P);
sol3 = solve(F3);
```

APPENDIX D

```
function odeWm
Y1=[0.4; 0.2; 0.4];
Y2=[0.4; 0.2; 0.4];
[T,Y]=ode45(@fun1,[0 80],Y1);
[T,Y1]=ode45(@fun1,[0 25],Y1);
[T,Y2]=ode45(@fun1,[0 25],Y2);
%[T,YB]=ode45(@fun1,[0 250],Y2);% решаем систем
figure(2), plot3(Y(:,1),Y(:,2),Y(:,3),'LineWidth',2),hold on;
plot3([0.5,0.5],[0.2,0.2],[0.4,0.4], 'mo-
','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor',[.49 1 .63],'MarkerSize',10);
view(2);
title('well-mixed');xlabel( 'x coordinate' ); ylabel( 'y coordinate' );  zlabel(
'z coordinate' );
grid on;
figure(1), plot3(Y1(:,1),Y1(:,2),Y1(:,3),'g-','LineWidth',2),hold on;
plot3([0.4,0.4],[0.2,0.2],[0.5,0.5], 'mo-
','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor',[.49 1 .63],'MarkerSize',10);hold on;
plot3(Y2(:,1),Y2(:,2),Y2(:,3),'r-','LineWidth',2)
view(2);
title('well-mixed');xlabel( 'x coordinate' ); ylabel( 'y coordinate' );  zlabel(
'z coordinate' );
grid on;

function F1=fun1(x,y) % подфункция правой части системы
k = 3;
X = [y(1); y(2); y(3)];
A = [0 (-1-6/(k-2)) (4+3/(k-2));
    (1 + 6/(k-2)) 4 (-4/(k-2));
    (-1-3/(k-2)) (6+4/(k-2)) 2];
A0 = [0 -1 4;
      1 4 0;
      -1 6 2];
%B = A*X;
C = A0*X;
%Xi' = Xi*((AX)i - X*(AX));
P = 3*y(1)*y(3) + 6*y(2)*y(3) + 4*y(2)*y(2) + 2*y(3)*y(3);
 F1 = X .* (C - P);
end
end
```

birth-death

```
function odeBD
Y1=[0.2; 0.3; 0.4];
Y2=[0.4; 0.2; 0.4];
Y3=[0.4; 0.2; 0.4];
Y4=[0.4; 0.2; 0.4];
%birth-death
[T,Y]=ode45(@fun1,[0 250],Y1);
[T,Y1]=ode45(@fun1,[0 25],Y1);
[T,Y2]=ode45(@fun1,[0 25],Y2);
[TT,Y3]=ode45(@fun10,[0 25],Y3);
[TH,Y4]=ode45(@fun100,[0 25],Y4);
%[T,YB]=ode45(@fun1,[0 250],Y2);% решаем систем
figure(2), plot3(Y(:,1),Y(:,2),Y(:,3),'LineWidth',2),hold on;
plot3([0.4,0.4],[0.2,0.2],[0.5,0.5], 'mo-
','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor',[.49 1 .63],'MarkerSize',10);hold on;
```

```
plot3([0.3,0.3],[0.2,0.2],[0.4,0.4], 'co-
','MarkerEdgeColor','r','MarkerFaceColor',[.49 1 .63],'MarkerSize',20);
view(2);
title('birth-death');xlabel( 'x coordinate' ); ylabel( 'y coordinate' );
zlabel( 'z coordinate' );
grid on;
figure(1), plot3(Y1(:,1),Y1(:,2),Y1(:,3),'LineWidth',2),hold on;
plot3([0.4,0.4],[0.2,0.2],[0.5,0.5], 'mo-
','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor',[.49 1 .63],'MarkerSize',10);hold on;
plot3(Y2(:,1),Y2(:,2),Y2(:,3),'m-','LineWidth',2)
view(2);
title('birth-death');xlabel( 'x coordinate' ); ylabel( 'y coordinate' );
zlabel( 'z coordinate' );
grid on;

figure(3), plot3(Y3(:,1),Y3(:,2),Y3(:,3),'LineWidth',2),hold on;
plot3(Y4(:,1),Y4(:,2),Y4(:,3),'m-','LineWidth',2);
view(2);
title('birth-death');xlabel( 'x coordinate' ); ylabel( 'y coordinate' );
zlabel( 'z coordinate' );legend('k=10','k=100');
grid on;


function F1=fun1(x,y) % подфункция правой части системы
k = 3;
X = [y(1); y(2); y(3)];
A = [0 (-1-6/(k-2)) (4+3/(k-2));
    (1 + 6/(k-2)) 4 (-4/(k-2));
    (-1-3/(k-2)) (6+4/(k-2)) 2];
A0 = [0 -1 4;
      1 4 0;
      -1 6 2];
B = A*X;
%C = A0*X;
%Xi' = Xi*((AX)i - X*(AX));
P = 3*y(1)*y(3) + 6*y(2)*y(3) + 4*y(2)*y(2) + 2*y(3)*y(3);
 F1 = X .* (B - P);
end
function F1=fun10(x,y) % подфункция правой части системы
k = 10;
X = [y(1); y(2); y(3)];
A = [0 (-1-6/(k-2)) (4+3/(k-2));
    (1 + 6/(k-2)) 4 (-4/(k-2));
    (-1-3/(k-2)) (6+4/(k-2)) 2];
A0 = [0 -1 4;
      1 4 0;
      -1 6 2];
B = A*X;
%C = A0*X;
%Xi' = Xi*((AX)i - X*(AX));
P = 3*y(1)*y(3) + 6*y(2)*y(3) + 4*y(2)*y(2) + 2*y(3)*y(3);
 F1 = X .* (B - P);
end
function F1=fun100(x,y) % подфункция правой части системы
k = 100;
X = [y(1); y(2); y(3)];
A = [0 (-1-6/(k-2)) (4+3/(k-2));
    (1 + 6/(k-2)) 4 (-4/(k-2));
    (-1-3/(k-2)) (6+4/(k-2)) 2];
A0 = [0 -1 4;
      1 4 0;
      -1 6 2];
B = A*X;
%C = A0*X;
```

```
%Xi' = Xi*((AX)i - X*(AX));
P = 3*y(1)*y(3) + 6*y(2)*y(3) + 4*y(2)*y(2) + 2*y(3)*y(3);
 F1 = X .* (B - P);
end
end
```

death-birth

```
function odeDB
Y1=[0.5; 0.1; 0.4];
Y2=[0.1; 0.3; 0.5];
Y3=[0.3; 0.3; 0.4];

%death-birth
[T,Y]=ode45(@fun2,[0 250],Y1);
[T,Y1]=ode45(@fun2,[0 25],Y1);
[T,Y2]=ode45(@fun2,[0 25],Y2);
[TH,Y3]=ode45(@fun2100,[0 25],Y3);
 figure(3), plot3(Y(:,1),Y(:,2),Y(:,3),'LineWidth',2);view(2);
title('death-birth');
xlabel( 'x coordinate' ); ylabel( 'y coordinate' );  zlabel( 'z coordinate' );
grid on;

figure(1), plot3(Y1(:,1),Y1(:,2),Y1(:,3),'LineWidth',2),hold on;
plot3([0.2,0.2],[0.1,0.1],[0.9,0.9], 'mo-
','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor',[.49 1 .63],'MarkerSize',10);hold on;
plot3(Y2(:,1),Y2(:,2),Y2(:,3),'c-','LineWidth',2)
view(2);
title('death-birth');xlabel( 'x coordinate' ); ylabel( 'y coordinate' );
zlabel( 'z coordinate' );
grid on;
 figure(2), plot3(Y3(:,1),Y3(:,2),Y3(:,3),'-m','LineWidth',2);hold on;
 plot3(Y1(:,1),Y1(:,2),Y1(:,3),'LineWidth',2);view(2);
title('death-birth');legend('k=100','k=3');
xlabel( 'x coordinate' ); ylabel( 'y coordinate' );  zlabel( 'z coordinate' );
grid on;


function F1=fun2(x,y) % подфункция правой части системы
k = 3;
X = [y(1); y(2); y(3)];
A = [0 (-1-(2+4*(k+1))/((k+1)*(k-2))) (4+(5-2*(k+1))/((k+1)*(k-2)));
    (1 + (2+4*(k+1))/((k+1)*(k-2))) 4 ((-6+2*(k+1))/((k+1)*(k-2)));
    (-1+(2*(k+1)-5)/((k+1)*(k-2))) (6+(6-2*(k+1))/((k+1)*(k-2))) 2];
A0 = [0 -1 4;
      1 4 0;
      -1 6 2];
B = A*X;
%C = A0*X;
%Xi' = Xi*((AX)i - X*(AX));
P = 3*y(1)*y(3) + 6*y(2)*y(3) + 4*y(2)*y(2) + 2*y(3)*y(3);
F1 = X .*(B - P);
end

function F1=fun2100(x,y) % подфункция правой части системы
k = 100;
X = [y(1); y(2); y(3)];
A = [0 (-1-(2+4*(k+1))/((k+1)*(k-2))) (4+(5-2*(k+1))/((k+1)*(k-2)));
    (1 + (2+4*(k+1))/((k+1)*(k-2))) 4 ((-6+2*(k+1))/((k+1)*(k-2)));
    (-1+(2*(k+1)-5)/((k+1)*(k-2))) (6+(6-2*(k+1))/((k+1)*(k-2))) 2];
A0 = [0 -1 4;
      1 4 0;
```

```
     -1 6 2];
B = A*X;
%C = A0*X;
%Xi' = Xi*((AX)i - X*(AX));
P = 3*y(1)*y(3) + 6*y(2)*y(3) + 4*y(2)*y(2) + 2*y(3)*y(3);
F1 = X .*(B - P);
end

end


function IM
Y0=[0.3;0.4;0.4];
Y2 =[0.4;0.4;0.2];
Y3 =[0.3;0.3;0.4];
Y4 =[0.3;0.3;0.4];
% вектор начальных условий
[T,Y]=ode45(@fun3,[0 250],Y0);
[T,Y1]=ode45(@fun3,[0 25],Y0);
[T,Y2]=ode45(@fun3,[0 25],Y2);
[T,Y3]=ode45(@fun310,[0 25],Y3);
[T,Y4]=ode45(@fun3100,[0 25],Y4);% решаем систем

figure(1), plot3(Y(:,1),Y(:,2),Y(:,3),'LineWidth',2); view(2);
title('imitation');xlabel( 'x coordinate' ); ylabel( 'y coordinate' );  zlabel(
'z coordinate' );
grid on;

 figure(2), plot3(Y1(:,1),Y1(:,2),Y1(:,3),'LineWidth',2);hold on;
plot3([0.16,0.16],[0.18,0.18],[0.8,0.8], 'mo-
','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor',[.49 1 .63],'MarkerSize',10);hold on;
plot3(Y2(:,1),Y2(:,2),Y2(:,3),'g-','LineWidth',2);view(2);
title('imitation');xlabel( 'x coordinate' ); ylabel( 'y coordinate' );  zlabel(
'z coordinate' );
grid on;

figure(3),plot3(Y4(:,1),Y4(:,2),Y4(:,3),'-c','LineWidth',2);hold on;
 plot3(Y1(:,1),Y1(:,2),Y1(:,3),'LineWidth',2);view(2);
title('imitation');xlabel( 'x coordinate' ); ylabel( 'y coordinate' );  zlabel(
'z coordinate' );legend('k=100','k=3');
grid on;

 function F3=fun3(x,y) % подфункция правой части системы
k = 3;
X = [y(1); y(2); y(3)];
A = [0 (-1-(6+4*(k+3))/((k+3)*(k-2))) (4+(15-2*(k+3))/((k+3)*(k-2)));
    (1 + (6+4*(k+3))/((k+3)*(k-2))) 4 (-(-18+2*(k+3))/((k+3)*(k-2)));
    (-1+(2*(k+3)-15)/((k+3)*(k-2))) (6+(18-2*(k+3))/((k+3)*(k-2))) 2];
A0 = [0 -1 4;
      1 4 0;
      -1 6 2];
B = A*X;
%C = A0*X;
%Xi' = Xi*((AX)i - X*(AX));
P = 3*y(1)*y(3) + 6*y(2)*y(3) + 4*y(2)*y(2) + 2*y(3)*y(3);
F3 = X .*(B - P);
 end

function F3=fun310(x,y) % подфункция правой части системы
k = 10;
X = [y(1); y(2); y(3)];
A = [0 (-1-(6+4*(k+3))/((k+3)*(k-2))) (4+(15-2*(k+3))/((k+3)*(k-2)));
    (1 + (6+4*(k+3))/((k+3)*(k-2))) 4 (-(-18+2*(k+3))/((k+3)*(k-2)));
    (-1+(2*(k+3)-15)/((k+3)*(k-2))) (6+(18-2*(k+3))/((k+3)*(k-2))) 2];
```

```
A0 = [0 -1 4;
      1 4 0;
      -1 6 2];
B = A*X;
%C = A0*X;
%Xi' = Xi*((AX)i - X*(AX));
P = 3*y(1)*y(3) + 6*y(2)*y(3) + 4*y(2)*y(2) + 2*y(3)*y(3);
F3 = X .*(B - P);
 end


function F3=fun3100(x,y) % подфункция правой части системы
k = 100;
X = [y(1); y(2); y(3)];
A = [0 (-1-(6+4*(k+3))/((k+3)*(k-2))) (4+(15-2*(k+3))/((k+3)*(k-2)));
    (1 + (6+4*(k+3))/((k+3)*(k-2))) 4 (-(-18+2*(k+3))/((k+3)*(k-2)));
    (-1+(2*(k+3)-15)/((k+3)*(k-2))) (6+(18-2*(k+3))/((k+3)*(k-2))) 2];
A0 = [0 -1 4;
      1 4 0;
      -1 6 2];
B = A*X;
%C = A0*X;
%Xi' = Xi*((AX)i - X*(AX));
P = 3*y(1)*y(3) + 6*y(2)*y(3) + 4*y(2)*y(2) + 2*y(3)*y(3);
F3 = X .*(B - P);
 end

end
```