

SECTION 7. Mechanics and machine construction.**Manat Beysheovich Tlebayev**

Doctor of engineering sciences, Professor,
Academician of Kazakh National Academy of Natural Sciences, Head of the department
«Computer engineering and Informatics»
Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Kazakhstan

Pavel Nikolayevich Shevtsov

student
Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Kazakhstan
pasha369@mail.ru

**COMPUTER SIMULATION OF EXTRUSION PROCESS IN THE ZONE
DOSING**

Abstract: In this research, a computer model is proposed for calculation of the characteristics of the extrusion process.

Key words: extrusion, model, polymer, temperature, auger.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ В
ЗОНЕ ДОЗИРОВАНИЯ**

Аннотация: В данном исследовании предлагается компьютерная модель расчета характеристик процесса экструзии.

Ключевые слова: экструзия, модель, полимер, температура, шнек.

При моделировании процесса экструзии ключевую роль в механике движения материала внутри экструдера во всех его фазах играют силы трения материала и расплава о стенки цилиндра и шнека. Процессы эти весьма сложные, описываются системами дифференциальных уравнений, которые сегодня решаются при помощи математических компьютерных моделей.

Выходящий из фильеры расплавленный горячий материал в физическом смысле представляет собой высоковязкую жидкость. Поэтому скорость его выхода определяется давлением расплава и сопротивлением его движению в фильере. На выходе из фильеры скорости движения отдельных потоков расплава на выходе из фильеры должны быть одинаковы. Динамические свойства материала и его расплава определяются его физическим и химическим составом, а также температурой. Поэтому современные экструдеры снабжаются эффективными системами автоматического контроля и управления загрузкой компонентов, температурой, давлением расплава.

Важнейшими свойствами материалов, влияющими на работу экструдера в твердой фазе, являются насыпная плотность, сжимаемость, размеры и форма частиц, внутреннее и внешнее трение, склонность к агломерации, в расплавленном состоянии - комплекса вязкостных характеристик.

При анализе работы зоны дозирования одночервячных экструдеров наибольшее развитие в настоящее время получило модельное представление развертки канала червяка на плоскость с обращением движения материального цилиндра. В такой модели рассматривается течение жидкой среды в прямоугольном канале под действием бесконечной плоскости, движущейся над каналом со скоростью V под углом φ . В общем виде решение данной задачи достигается совместным решением уравнений: движения

$$\rho \left(\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_j \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \right) = \rho f_i^2 - \frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial t_{i,j}}{\partial x_j} ;$$

неразрывности (для несжимаемых сред):

$$\sum \frac{\partial V_i}{\partial x_i} = 0 ;$$

сохранения энергии:

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + V_j \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K - \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + t_{i,j} \frac{\partial V_i}{\partial x_j}$$

реологического уравнения:

$$t_{i,j} = f(\xi_{i,j}, \eta)$$

при соответствующих граничных условиях.

Решение поставленной задачи будем выполнять в Delphi в соответствии с разработанными алгоритмами

```
unit Unit1;
interface
uses
  Winapi.Windows, Winapi.Messages, System.SysUtils, System.Variants, System.Classes,
  Vcl.Graphics,
  math, Vcl.Controls, Vcl.Forms, Vcl.Dialogs, Vcl.StdCtrls, Vcl.Buttons, Vcl.ExtCtrls,
  Vcl.ComCtrls, Vcl.Samples.Spin, Vcl.Grids, VclTee.TeeGDIPlus, VCLTee.TeEngine,
  VCLTee.Series, VCLTee.TeeProcs, VCLTee.Chart;
...
var
  Form1: TForm1;
R,x0,y0,x1,y1,
t,dx0:double; tt:array[1..100] of real; p1,p2,p3:real;
yy,t0:integer;
implementation

{$R *.dfm}
function Ok(x0,y0,R:real):boolean;
var i:integer;
begin
form1.image1.Canvas.Ellipse(trunc(x0-R),trunc(y0-R),trunc(x0+R),trunc(x0+R));
end;

function Okr(x0,y0,R:real):boolean;
var i:integer;
begin
form1.image1.Canvas.Ellipse(trunc(x0-R),trunc(y0-R),trunc(x0+R),trunc(y0+R));
end;
```

```

function Kvad(x0,y0,xL,yL:real):boolean;
begin
form1.image1.Canvas.Rectangle(trunc(x0),trunc(y0),trunc(x0+xL),trunc(y0+yL));
end;

function KvadColor(x0,y0,xL,yL:real;c:tcolor):boolean;
begin
form1.image1.Canvas.Brush.Color:=c;
form1.image1.Canvas.FillRect(rect(trunc(x0),trunc(y0),trunc(x0+xL),trunc(y0+yL)));
form1.image1.Canvas.Brush.Color:=clwhite;
end;

function Pryz(x0,y0,x1,y1:real):boolean;
var k,
i,j:integer;
L,h,x,R,y,v:real;
begin
okr(x0,y0,5);okr(x1,y1,5);
form1.image1.Canvas.MoveTo(trunc(x0),trunc(y0));
R:=10;
L:=sqrt(sqr(x1-x0)+sqr(y1-y0));
k:=5;
h:=L/(360*k) ;

for I := 1 to 360*k do
begin
y:=y0+h*i;
x:=x0+R*sin(k*i/360);
form1.image1.Canvas.LineTo(trunc(x),trunc(y));
end;
end;

function Pryz1(x0,y0,x1,y1:real):boolean;
var k,
i,j:integer;
L,h,x,R,y,v:real;
begin
okr(x0,y0,5);okr(x1,y1,5);
form1.image1.Canvas.MoveTo(trunc(x0),trunc(y0));
R:=10;
L:=sqrt(sqr(x1-x0)+sqr(y1-y0));
k:=5;
h:=L/(360*k) ;

for I := 1 to 360*k do
begin
x:=x0+h*i;
y:=y0+R*sin(k*i/360);
form1.image1.Canvas.LineTo(trunc(x),trunc(y));
end;
end;

```

```
end;

function setka:boolean;
var i,j:integer;dy1:real;
begin
form1.image1.Canvas.Pen.Width:=1;
form1.image1.Canvas.Pen.Color:=clscrollbar;
dy1:=25;
for I := 0 to 50 do
begin
form1.image1.Canvas.MoveTo(0,trunc(i*dy1));
form1.image1.Canvas.LineTo(1000,trunc(i*dy1));
form1.image1.Canvas.MoveTo(trunc(i*dy1),0);
form1.image1.Canvas.LineTo(trunc(i*dy1),1000);
end;
form1.image1.Canvas.Pen.Color:=clblack;
form1.image1.Canvas.Pen.Width:=1;
end;

function spir(x0,y0,h:real):boolean;
var i,j:integer;dx,dy1:real;
begin
form1.image1.Canvas.Pen.Width:=1;
dy1:=25;
for I := 1 to 15 do
begin
form1.image1.Canvas.Pen.Color:=clblack;
form1.image1.Canvas.MoveTo(trunc(x0)+i,trunc(y0));
dx:=0;
if x0>500 then
dx:=x0-500;
form1.image1.Canvas.LineTo(trunc(x0)+40+i,trunc(y0)+150);
end;
form1.image1.Canvas.Pen.Color:=clblack;form1.image1.Canvas.Pen.Width:=1;
end;

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var dy1,i,a,b,c:integer; d1,d2, dex:real;
begin
// очистка
image1.Canvas.Brush.Color:=clwhite;
image1.Canvas.FillRect(rect(0,0,1000,1000));
setka;
kvadcolor(-1*100+50-1,yy+20,100-2,30,clteal);
kvadcolor(-1*100+50-1,yy+200,100-2,30,clteal);
kvadcolor(0*100+50-1,yy+200,100-2,30,clteal);
kvadcolor(50+1,yy-50,10,100,clteal);
kvadcolor(150-13,yy-50,10,100,clteal);
for i := 1 to 4 do begin
kvadcolor(i*100+50-1,yy+20,100-2,30,clmaroon);
kvadcolor(i*100+50-1,yy+200,100-2,30,clmaroon);
```

```

end;
form1.image1.Canvas.Pen.Color:=clblack;
image1.Canvas.Brush.Color:=clwhite;
kquadcolor(0,yy+100+1,700,50-2,clhotlight);
for i := -4 to 4 do begin
if t0+i*100+50-1>-100 then
if t0+i*100+50-1<550 then
spir(t0+i*100+50-1,yy+50,50);
end;
kquadcolor(5*100+50-1,yy+50,60,150,clteal);
image1.Canvas.Pen.Width:=4;
image1.Canvas.Pen.Width:=2;
d1:=sqrt(sqr(x0-100)+sqr(y0-200));
d1:=d1/2;
d2:=sqrt(10000/3-sqr(d1));
image1.Canvas.Pen.Width:=4;
end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
timer1.Enabled:=not(timer1.Enabled);
if timer1.Enabled then button1.Caption:='Пайза';
if timer1.Enabled=false then button1.Caption:='Старт';
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var d,tt,x,n,L:integer;
K,t,h1,e,ln,lc,h3,h2,d1,d2,o,a,b,a1,b1,
i,q,yv,m1,m2,y1,y2,aa,bb,mv,lg,tgf,pm,pd:real;
begin
i:=2;
d:=spinedit2.Value;
x:=spinedit3.Value;
n:=spinedit4.Value;
l:=d*35;
K:=strtoFLOAT(label19.Caption);
t:=1.1*d;
tt:=spinedit2.Value;
h1:=0.15*d;
e:=0.09*d;
ln:=roundto(0.7*l,-3);
lc:=l-ln;
h3:=roundto(0.5*(d-sqrt(d*d-((4*h1)/i)*(d-h1))),-3);
h2:=roundto(h1-(h1-h3)/l*lc,-3);
d1:=roundto(d-2*h1,-3);
d2:=roundto(d-2*h2,-3);
o:=roundto(1-((6.9*d)/(2*(h2-h1))*math.Log10(h2/h3)-(d*d)/(2*h2*h3)),-3);
a:=roundto((pi*pi)/(h2*h3)*((d*(h2-h3))/(2*h2*h3)-1),-3);
b:=2.3/((h2-
h3)*d*d*d)*math.Log10(h2*(d+d2)/h3*(d+d1)+(2*h2*h3+(h2+h3)*d)/(2*d*d*h2*h2*h3*h
3));

```

```

a1:=((pi*pi*pi)*((t-(x*e))*o))/(a+((t*t)*b));
b1:=(3.14*t*(t-x*e))/(12*math.LogN(2.7,a+t*t*b));
q:=roundto((a1*k*n)/(60*(k+b1)),-2);
yv:=roundto((pi*d*n)/(60*h3),-3);
m1:=roundto(math.Log10(1800),-3);
m2:=roundto(math.Log10(500),-3);
y1:=roundto(math.Log10(20),-3);
y2:=roundto(math.Log10(350),-3);
aa:=roundto((m2-m1)/(y2-y1),-3);
bb:=roundto(((aa*y1)+m1),-3);
mv:=roundto(power(10,(power(yv,aa))*bb),-3);
lg:=4*t;
tgf:=t/(pi*d);
pm:=roundto((pi*d*lg*mv*n)/(h3*h3*tgf*60),-1);
pd:=roundto(pm/1.5,-1);
label18.Caption:=inttostr(l);
label20.Caption:=floattostr(t);
label21.Caption:=floatTTOstr(h1);
label22.Caption:=FLOATTtostr(e);
label46.Caption:=floattostr(ln);
label47.Caption:=floattostr(lc);
label48.Caption:=floattostr(h3);
label49.Caption:=floattostr(h2);
label50.Caption:=floattostr(d1);
label51.Caption:=floattostr(d2);
label52.Caption:=floattostr(o);
label53.Caption:=floattostr(a);
label54.Caption:=floattostr(b);
label55.Caption:=floattostr(A1);
label56.Caption:=floattostr(b1);
label57.Caption:=floattostr(q);
label58.Caption:=floattostr(yv);
label59.Caption:=floattostr(aa);
label60.Caption:=floattostr(bb);
label61.Caption:=floattostr(mv);
label62.Caption:=floattostr(lg);
label63.Caption:=floattostr(pm);
label64.Caption:=floattostr(pd);
end;

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
var j,d,tt,x,n,L:integer;
K,t,h1,e,ln,lc,h3,h2,d1,d2,o,a,b,a1,b1,
i,f,q,yv,m1,m2,y1,y2,aa,bb,mv,lg,tgf,pm,pd:real;
qm,yvm,pmm,pdm:array of real;
begin
i:=2;
d:=spinedit2.Value;
x:=spinedit3.Value;
n:=spinedit4.Value;
l:=d*35;

```

```

K:=strtoFLOAT(label19.Caption);
t:=1.1*d;
tt:=spinedit2.Value;
h1:=0.15*d;
e:=0.09*d;
ln:=roundto(0.7*1,-3);
series2.Clear;series3.Clear;series4.Clear;
for j:=1 to 100 do
begin
t:=j/100;
lc:=1-ln;
h3:=roundto(0.5*(d-sqrt(d*d-((4*h1)/i)*(d-h1))),-3);
h2:=roundto(h1-(h1-h3)/1*lc,-3);
d1:=roundto(d-2*h1,-3);
d2:=roundto(d-2*h2,-3);
o:=roundto(1-((6.9*d)/(2*(h2-h1))*math.Log10(h2/h3)-(d*d)/(2*h2*h3)),-3);
a:=roundto((pi*pi)/(h2*h3)*((d*(h2-h3))/(2*h2*h3)-1),-3);
b:=2.3/((h2-
h3)*d*d*d)*math.Log10(h2*(d+d2)/h3*(d+d1))+((2*h2*h3+(h2+h3)*d)/(2*d*d*h2*h2*h3*
3));
a1:=((pi*pi*pi)*((t-(x*e))*o))/(a+((t*t)*b));
b1:=(3.14*t*(t-x*e))/(12*math.LogN(2.7,a+t*t*b));
q:=roundto((a1*k*n)/(60*(k+b1)),-2);
yv:=roundto((pi*d*n)/(60*h3),-3);
lg:=4*t;
m1:=roundto(math.Log10(1800),-3);
m2:=roundto(math.Log10(500),-3);
y1:=roundto(math.Log10(20),-3);
y2:=roundto(math.Log10(350),-3);
aa:=roundto((m2-m1)/(y2-y1),-3);
bb:=roundto(((aa*y1)+m1),-3);
mv:=roundto(power(10,(power(yv,aa))*bb),-3);
tgf:=t/(pi*d);
pm:=roundto((pi*d*lg*mv*n)/(h3*h3*tgf*60),-1);
pd:=roundto(pm/1.5,-1);
series2.addxy(t,a1);
series3.addxy(t,b1);
label3.Caption:='шаг нарезки';
label4.Caption:='прямой поток A1';
label5.Caption:='шаг нарезки';
label8.Caption:='обратный поток B1';
label6.Caption:='шаг нарезки';
label7.Caption:='обратный поток C1';
t:=t+1;
end;
end;

procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
var j,d,tt,x,n,L:integer;
K,t,h1,e,ln,lc,h3,h2,d1,d2,o,a,b,a1,b1,
i,f,q,yv,m1,m2,y1,y2,aa,bb,mv,lg,tgf,pm,pd:real;

```

```

qm,yvm,pmm,pdm:array of real;
begin
i:=2;
d:=spinedit2.Value;
x:=spinedit3.Value;
n:=spinedit4.Value;
l:=d*35;
K:=strtoFLOAT(label19.Caption);
t:=1.1*d;
tt:=spinedit2.Value;
h1:=0.15*d;
e:=0.09*d;
ln:=roundto(0.7*1,-3);
series2.Clear;
series3.Clear;
series4.Clear;
for j:=n to 100 do
begin
lc:=l-ln;
h3:=roundto(0.5*(d-sqrt(d*d-((4*h1)/i)*(d-h1))),-3);
h2:=roundto(h1-(h1-h3)/l*lc,-3);
d1:=roundto(d-2*h1,-3);
d2:=roundto(d-2*h2,-3);
o:=roundto(1-((6.9*d)/(2*(h2-h1))*math.Log10(h2/h3)-(d*d)/(2*h2*h3)),-3);
a:=roundto((pi*pi)/(h2*h3)*((d*(h2-h3))/(2*h2*h3)-1),-3);
b:=2.3/((h2-
h3)*d*d*d)*math.Log10(h2*(d+d2)/h3*(d+d1))+((2*h2*h3+(h2+h3)*d)/(2*d*d*h2*h3*h
3));
a1:=((pi*pi*pi)*((t-(x*e))*o))/(a+((t*t)*b));
b1:=(3.14*t*(t-x*e))/(12*math.LogN(2.7,a+t*t*b));
q:=roundto((a1*k*n)/(60*(k+b1)),-2);
yv:=roundto((pi*d*n)/(60*h3),-3);
lg:=4*t;
m1:=roundto(math.Log10(1800),-3);
m2:=roundto(math.Log10(500),-3);
y1:=roundto(math.Log10(20),-3);
y2:=roundto(math.Log10(350),-3);
aa:=roundto((m2-m1)/(y2-y1),-3);
bb:=roundto(((aa*y1)+m1),-3);
mv:=roundto(power(10,(power(yv,aa))*bb),-3);
tgf:=t/(pi*d);
pm:=roundto((pi*d*lg*mv*n)/(h3*h3*tgf*60),-1);
pd:=roundto(pm/1.5,-1);
series2.addxy(n,q);
series3.addxy(n,yv);
series4.addxy(n,pd);
label3.Caption:='частота вращения шнека, об/мин';
label4.Caption:='Q,см3/сек';
label5.Caption:='частота вращения шнека, об/мин';
label8.Caption:='скорость сдвига расплава в канале шнека';
label6.Caption:='частота вращения шнека, об/мин';

```



```
label7.Caption:='давление перед головкой,Па';
n:=n+1;
end;
end;

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
yy:=100;
stringgrid1.Cells[0,1]:='A';
stringgrid1.Cells[0,2]:='β';
stringgrid1.Cells[0,3]:='k';
stringgrid1.Cells[0,4]:='μ';
stringgrid1.Cells[1,0]:='x1';
stringgrid1.Cells[2,0]:='x2';
stringgrid1.Cells[3,0]:='x3';
stringgrid1.Cells[4,0]:='x3';
stringgrid1.Cells[1,1]:='5';
stringgrid1.Cells[1,2]:='8';
stringgrid1.Cells[1,3]:='38,6';
stringgrid1.Cells[1,4]:='0,26';
stringgrid1.Cells[2,1]:='5';
stringgrid1.Cells[2,2]:='8';
stringgrid1.Cells[2,3]:='58,2';
stringgrid1.Cells[2,4]:='-45,2';
stringgrid1.Cells[3,1]:='5';
stringgrid1.Cells[3,2]:='8';
stringgrid1.Cells[3,3]:='9,650000000';
stringgrid1.Cells[4,1]:='5';
stringgrid1.Cells[4,2]:='8';
stringgrid1.Cells[4,3]:='14,600000000';
stringgrid5.Cells[0,0]:='температура пресс-формы';
stringgrid5.Cells[1,0]:='температура заготовки';
stringgrid5.Cells[2,0]:='время отверждения';
stringgrid5.Cells[3,0]:='плотность';
stringgrid5.Cells[4,0]:='теплопроводность';
stringgrid5.Cells[5,0]:='теплоемкость';
stringgrid5.Cells[6,0]:='толщина';
stringgrid5.Cells[7,0]:='кол-во слоев';
stringgrid5.Cells[0,1]:='185';
stringgrid5.Cells[1,1]:='65';
stringgrid5.Cells[2,1]:='24';
stringgrid5.Cells[3,1]:='730';
stringgrid5.Cells[4,1]:='0,187';
stringgrid5.Cells[5,1]:='1,45';
stringgrid5.Cells[6,1]:='0,027';
stringgrid5.Cells[7,1]:='5';
t:=0;
t0:=0;
R:=100;
x0:=100; y0:=300;
x1:=300; y1:=300;
```

```
bitbtn1.Click;
end;

procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
var A,B,k:array[1..4] of real; u1,u2:real; i:integer;
begin
for I := 1 to 4 do
begin
A[i]:=strtofloat(stringgrid1.Cells[i,1]);
B[i]:=strtofloat(stringgrid1.Cells[i,2]);
k[i]:=strtofloat(stringgrid1.Cells[i,3]);
u1:=strtofloat(stringgrid1.Cells[1,4]);
u2:=strtofloat(stringgrid1.Cells[2,4]);
end;
timer1.Interval:=10+1*(50-spinedit1.Value) ;
t:=t+0.01;
dx0:= A[1]*sin(k[1]*t+B[1])+A[1]*sin(k[1]*t+B[1]);
y0:=y0+ 0.5*dx0;
y1:=y1+ 0.3*(A[2]*sin(k[2]*t+B[1])+A[2]*sin(k[2]*t+B[2]));
bitbtn1.Click;
end;

procedure TForm1.Timer2Timer(Sender: TObject);
begin
inc(t0);
inc(t0);
inc(t0);inc(t0);
inc(t0);inc(t0);
inc(t0);
if t0>300 then t0:=0;
end;
end.
```

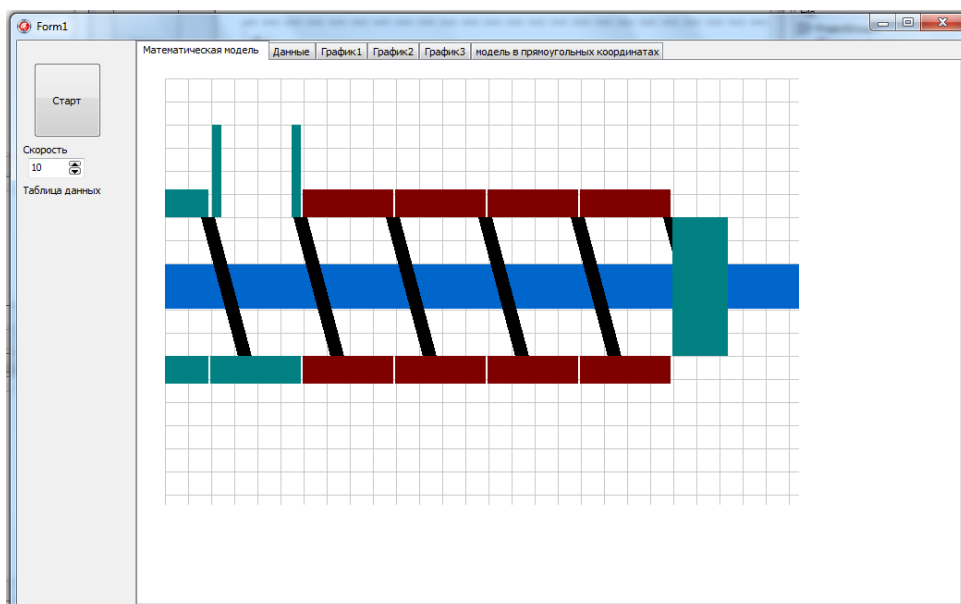


Рисунок 1 - Основное окно программы.

Form1

Математическая модель | Данные | График1 | График2 | График3 | модель в прямоугольных координатах

Старт

Скорость: 10

Таблица данных

входные данн	диаметр шнека	число заходов	частота враще	длина шнека	коэф-т формы	шаг нарезки	температура п	глубина канал
	20	1	30	35	0,0055	1,1	180	0,15

расчет задачи

длина зон и	глубина кан	глубина кан	диаметр ва	диаметр ва	о	a	b	A1	B1	длина зон и	объемная п	скорость сл	a
490	1,369	2,511	14	14,978	96,354	6,667	0,00977643	5294,34079	47,4623379	210	0,31	22,948	-0,44

построить графики зависимости потоков от шага нарезки

построить графики зависимости потоков от частоты вращения шнека

Button7

Рисунок 2 - Окно программы с вычисленными значениями.

При изменении исходных данных компьютерная модель позволяет рассчитывать производительность экструдера (рис.1-3). К примеру от частоты вращения шнека рис.3.

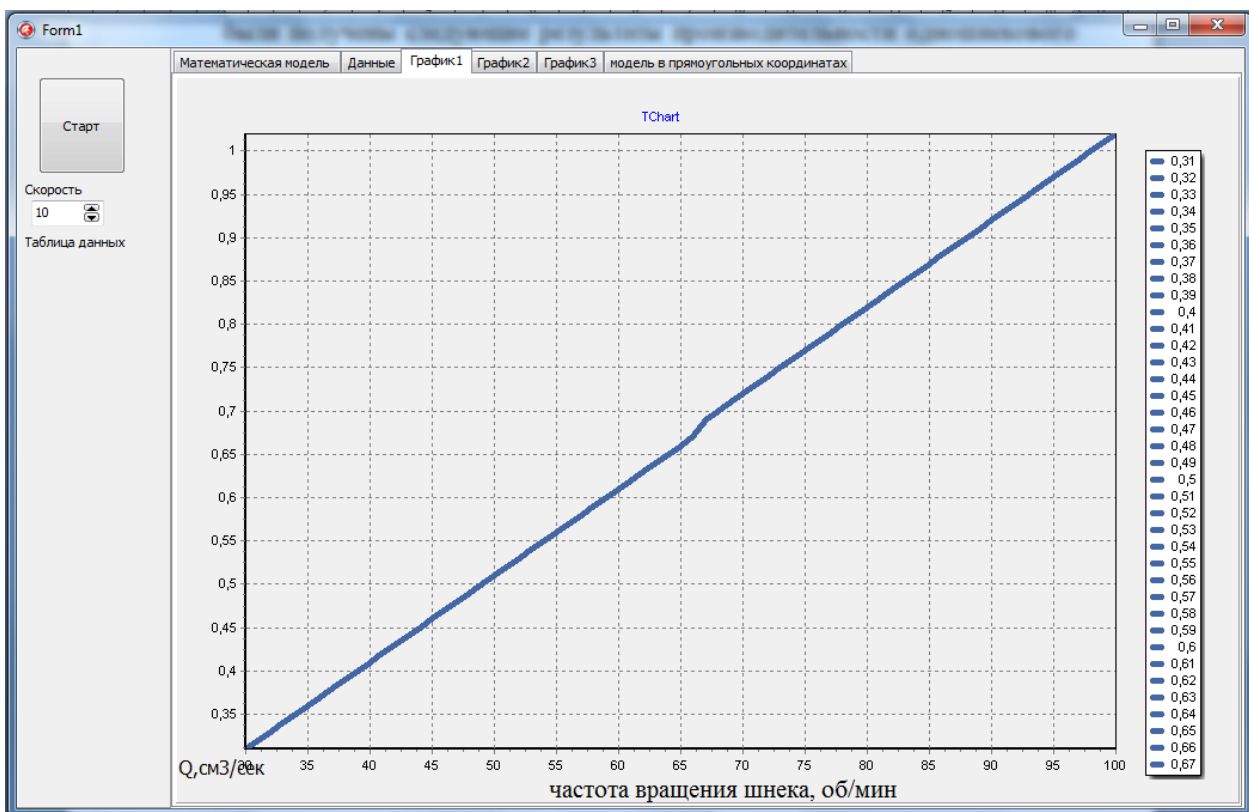


Рисунок 3 - Зависимость объемной производительности экструдера от частоты вращения шнека.

References:

1. Басов Н. И., Казанков Ю. В. Литьевое формование полимеров. — М.: Химия, 1984. — 248 с.
2. Вель Г. И., Сенатос В. А., Петухов А. Д. Определение напряжений при формовании рукавной пленки // Химическая технология. — 1979. — № 4. — С. 34–37.
3. Воскресенский А. М., Ищенко М. А. Компьютерные модели свойств и переработки полимерных композиций. — СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2008. — 66 с.
4. Воскресенский А. М., Кучинская Е. А. Переработка полимерных материалов в червячных машинах. Методы технологических расчетов. — СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2000. — 58 с.
5. Воскресенский А. М., Сыкалов Г. В. Метод итераций вязкости в теории переработки полимеров. — СПб.: Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2013. — 116 с.
6. Лукач Ю. Е., Петухов А. Д., Сенатос В. А. Оборудование для производства полимерных пленок. — М.: Машиностроение, 1981. — 224 с.
7. Полосин А. Н. Моделирование и оптимизация процессов смешения термопластичных материалов в одношнековых экструдерах // Информационные технологии моделирования и управления. — 2009. — № 2. — С. 297–305.
8. Полосин А. Н., Плонский В. Ю. Расчет термической деструкции полимерного материала в осциллирующем экструдере // Информационные технологии в науке, проектировании и производстве: материалы V Всерос. науч.-техн. конф. Н. Новгород: Межрегион. Верхне волж. отд-ние Акад. технол. наук РФ, 2002. — С. 13–14.
9. Полосин А. Н. Технология моделирования неизотермического течения расплавов полимеров в одношнековых экструдерах на базе теории плоских потоков // Информационные технологии моделирования и управления. — 2007. — № 3. — С. 376–386.
10. Полосин А. Н., Чистякова Т. Б. Математическая модель одношнековой экструзии для управления качеством пластика в многоассортиментных производствах полимерных пленок // Системы управления и информационные технологии. — 2009. — № 2. — С. 87–92.
11. Полосин А. Н., Чистякова Т. Б., Блинов И. Г. Библиотека математических моделей для исследования и перенастройки процессов получения рукавных пленок // Математические методы Программный комплекс для моделирования и оптимизации одношнековых экструзионных процессов в многоассортиментных производствах пленочных и гранулированных полимерных материалов : свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ № 201061423
12. (30.06.2010) / Чистякова Т. Б., Полосин А. Н., Григорьев О. Е. // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем: офиц. бюл. Федер. службы по интелект. собственности, пат. и товар. знакам. — М.: ФИПС, 2010. — Вып. 3. — С. 447.
13. Раувендааль К. Экструзия полимеров. — СПб.: Профессия, 2008. — 768 с.
14. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. — М.: Химия, 1984. — 632 с.
15. Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем. 2-е изд., испр. и доп. — Мн.: ДизайнПРО, 2004. — 640 с.
16. Торнер Р. В. Основные процессы переработки полимеров (теория и методы расчета). — М.: Химия, 1972. — 456 с.