

Министерство образования Российской Федерации

Владимирский государственный университет

Кафедра технологии переработки пластмасс

УДК 66.01:51.001.57

**ЭЛЕКТРОННЫЕ
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторной работе

«Исследование динамики движения материала в зазоре валков каландра»

по дисциплине «Математическое моделирование процессов переработки пластмасс»

Составители:

к.т.н., доцент Барабанов Н.Н.

к.т.н., доцент Земскова В.Т.

Владимир 2003 г.

Электронные методические указания к лабораторной работе "Исследование динамики движения материала в зазоре валков каландра"

1. Назначение указаний.

- данные электронные методические указания составлены в системе MATLAB Notebook и предназначены для самостоятельного изучения рассматриваемой темы и проведения расчетов по исследованию влияния основных параметров процесса на динамику движения материала в зазоре валков каландра.

- для дистанционного обучения.

MATLAB Notebook – это встроенный пакет системы MATLAB, предназначенный для создания интерактивных документов в среде Microsoft Word. Документы - учебные пособия, созданные при помощи этого пакета, называются М-книгами. М-книга включает в себя текст, команды системы MATLAB и результаты их выполнения.

2. Теоретическая часть.

Для анализа процесса течения полимера в зазоре между валками примем следующие допущения:

- 1) перерабатываемый материал несжимаем;
- 2) размеры и окружные скорости валков одинаковы (коэффициент трения равен 1);
- 3) величина зазора значительно меньше радиуса валков;
- 4) тепловыделением в процессе каландрования пренебрегаем.

Схема процесса каландрования представлена на рис.1.

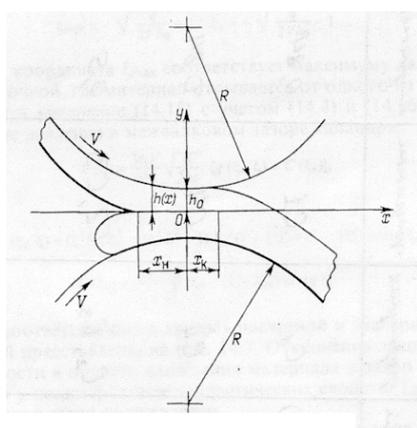


Рис.1. Схема процесса каландрования

Расплав полимера, находящийся у входа в зазор, прилипает к вращающейся поверхности валков и увлекается ими в зазор. Поперечное сечение межвалкового зазора (по координате x) переменное и может быть описано следующей зависимостью:

$$h(x) = h_0 + R - R\sqrt{1 - (x/R)^2}, \quad (1)$$

где R – радиус валка, м; h_0 – межвалковый зазор, м; x – текущее значение поперечной координаты.

Для исследования распределения скоростей и давления в зазоре воспользуемся дифференциальным уравнением движения вязкой несжимаемой жидкости:

$$\frac{dP}{dx} = \eta \frac{d^2 \vartheta}{dy^2}, \quad (2)$$

где P – давление в материале, Мпа;

ϑ – скорость движения материала в слоях, м/с;

η – эффективная вязкость расплава, Па·с;

x, y – координаты.

Из условия прилипания материала к поверхности валков скорость движения материала в слое, прилегающего к поверхности валка, равна скорости движения поверхности валков V (м/с). На основании этого граничные условия по координате y , будут иметь вид:

$$\vartheta|_{y=\pm h} = V. \quad (3)$$

Давление в материале у входа в зазор (координата x_H) и на выходе из зазора (координата x_K) равно атмосферному, т.е. граничные условия по координате x будут иметь вид:

$$P|_{x=x_H} = 0; \quad P|_{x=x_K} = 0. \quad (4)$$

Симметричность процесса по координате y учитывает условие:

$$\left. \frac{d\vartheta}{dy} \right|_{y=0} = 0. \quad (5)$$

Запишем уравнение (2) в виде:

$$\frac{d^2 \vartheta}{dy^2} = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dx} \quad (6)$$

и проинтегрируем его по y :

$$\frac{d\vartheta}{dy} = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dx} y + C_1. \quad (7)$$

Постоянную интегрирования C_1 найдем, воспользовавшись условием симметричности (5), из которого следует, что $C_1 = 0$.

Дальнейшее интегрирование приводит уравнение (7) к следующему

виду:
$$\vartheta = \frac{y^2}{2\eta} \frac{dP}{dx} + C_2. \quad (8)$$

Принимая во внимание граничные условия (3) найдем постоянную интегрирования C_2 :

$$C_2 = V - \frac{h^2}{2\eta} \frac{dP}{dx} \quad (9)$$

Подставляя выражение (9) в уравнение (8), окончательно получим уравнение, описывающее распределение скоростей потока расплава материала в поперчном сечении зазора:

$$\vartheta = V - \frac{y^2 - h^2}{2\eta} \frac{dP}{dx} \quad (10)$$

Уравнение (10) позволяет найти изменение градиента давления dP/dx и давлени P в межвалковом зазоре. Для решения уравнения (10) введем безразмерную координату ξ :

$$\xi = \frac{x}{\sqrt{2Rh_0}} \quad (11)$$

Учитывая, что толщина зазора мала, разложим в уравнении (1) квадратный корень в степенной ряд и ограничимся двумя его членами:

$$h \approx h_0 + 0,5 \frac{x^2}{R} \quad (12)$$

Перейдя к безразмерной координате ξ , используя выражение (11), ($\xi^2 = \frac{x^2}{2Rh_0}$, $x^2 = \xi^2 2Rh_0$) и подставив ее в уравнение (12), получим, что геометрия канала описывается зависимостью

$$h = h_0 + 0,5 \frac{\xi^2 2Rh_0}{R} = h_0 (1 + \xi^2) \quad (13)$$

Поток материала q , проходящий через единицу ширины зазора может быть найден по уравнению:

$$q = \int_{-h}^{+h} \vartheta dy \quad (14)$$

Подставим (10) в (14) и с учетом (13), получим:

$$q = \int_{-h}^{+h} \left(V - \frac{y^2 - h_0^2 (1 + \xi^2)^2}{2\eta \sqrt{2Rh_0}} \frac{dP}{d\xi} \right) dy \quad (15)$$

Интегрируя выражение (15) получим:

$$\frac{dP}{d\xi} = \sqrt{\frac{2R}{h_0}} \cdot \frac{3\eta V}{h_0} \cdot \frac{(1 + \xi^2 - q/(2Vh_0))}{(1 + \xi^2)^3} \quad (16)$$

Условие экстремума давления ($dP/d\xi = 0$) будет выполняться при двух значениях координат ξ , которые найдем из решения уравнения:

$$\sqrt{\frac{2R}{h_0}} \cdot \frac{3\eta V}{h_0} \cdot \frac{(1 + \xi^2 - q/(2Vh_0))}{(1 + \xi^2)^3} = 0, \quad (17)$$

из которого следует, что выполнение условия (17) возможно при

$$(1 + \xi^2 - q/(2Vh_0)) = 0. \quad \text{Отсюда получим, что}$$

$$\xi_{\max} = \xi_1 = -\sqrt{\frac{q}{2Vh_0} - 1}; \quad \xi_K = \xi_2 = +\sqrt{\frac{q}{2Vh_0} - 1}. \quad (18)$$

При этом координата ξ_{\max} соответствует максимальному давлению $P=P_{\max}$, а ξ_K совпадает с точкой, где материал отрывается от одного из валков.

Интегрируя уравнение (16) с учетом (4) и (18), получим зависимость распределения давления в межвалковом зазоре каландра:

$$P(\xi) = \frac{3\eta V}{4h_0} [g(\xi_K, \xi) + C(\xi_K)], \quad (19)$$

где $g(\xi_K, \xi) = \xi(\xi^2 - 5\xi_K^2 - 3\xi_K^2\xi^2 - 1)/(1 + \xi^2)^2 + (1 - 3\xi_K^2) \arctg \xi$;

$$C(\xi_K) = \frac{1 + 3\xi_K^2}{1 + \xi_K^2} \xi_K - (1 - 3\xi_K^2) \arctg \xi_K.$$

Распределение скоростей движения материала и давления в межвалковом зазоре каландра приведены на рис. 2.

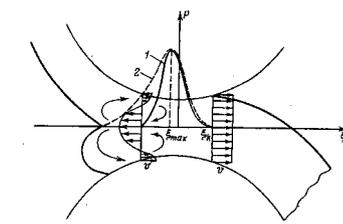


Рис.2

3. Экспериментальная часть

Для исследования влияния основных параметров процесса на динамику движения материала в зазоре валков каландра и проведения расчетов по распределению скоростей и давления в межвалковом зазоре на основании приведенной теории, предлагается программа, с которой можно работать в системе Notebook в среде Matlab, не выходя из программы Word.

..... Skript-файла для расчета распределения давления
и скорости в зазоре валков каландра

%

%
%

% Диаметр валков каландра d,м
% Величина рабочего зазора h0,м
% Значение вязкости w,Па*с
% Толщина слоя полимера в сечении загрузки h1,м
% Скорость вращения валка v0,м/с
% Величина фрикции, f
% Положение эпюры скоростей, z
% Конец входных данных

```
%  
d=.71;  
h0=.001;  
w=500;  
h1=.002;  
v0=.26;  
f=1.8;  
z=0.05;  
r=d/2;x1=(h1/h0-1)^.5;v0=v0*(1+f)/2;l=(f-1)/(f+1);  
x2=x1/2;x3=0;x4=x1;  
while(x4-x3)>0.000001  
    y1=x1*(x1^2-5*x2^2-3*x2^2*x1^2-1)/(1+x1^2)^2;  
    y1=y1+(1-3*x2^2)*atan(x1);  
    y2=(1+3*x2^2)/(1+x2^2)*x2-(1-3*x2^2)*atan(x2);  
    y=y1-y2;  
    if y<0 x4=x2;else x2=x3+(x4-x3)/2;end;  
    if y>=0 x3=x2; else x2=x4-(x4-x3)/2;end;  
end;  
zap=x1*(2*r*h0)^.5;xotr=x2*(2*r*h0)^.5;  
disp('Положение запаса zap=');disp(zap);  
disp('Положение точки отрыва xotr=');disp(xotr);  
h2=(1+x2^2)*h0;x1=-x1;  
disp('Толщина формуемого листа,м h2=');disp(h2);  
for i=1:32  
    x(i)=x1+(x2-x1)*(i-1)/32;  
    g(i)=x(i)*(x(i)*x(i)-5*x2*x2-3*x2*x2*x(i)*x(i)-1)/(1+x(i)*x(i))^2;  
    g(i)=g(i)+(1-3*x2^2)*atan(x(i));  
    c=(1+3*x2*x2)/(1+x2*x2)*x2-(1-3*x2*x2)*atan(x2);  
    p(i)=3*w*v0/(4*h0)*(g(i)+c);  
    ax(i)=x(i)*(2*r*h0)^0.5;
```

```

ap(i)=p(i)/1000000;
end;
%p0=(3*w*v0*x2^3/h0*(9*r/8/h0)^.5)/1000000;
p0=max(ap);
xm=-(2*r*h0)^.5*x2;
disp('Максимальное давление p0');disp(p0);
disp('в точке xm=');disp(xm);
x=z/(2*r*h0)^.5;h=h0*(1+x^2);
for j=1:21;
    m=1-(j-1)/10;
    v(j)=v0/(1+x^2)*((3*m^2*(x^2-x2^2)+3*x2^2-x^2+2)/2+m*1*(1+x^2));
    mm(j)=m*h/2;
end;
subplot(1,2,1);
plot(ax,ap);grid on;xlabel('xx,м');ylabel('Давление,Мпа');
subplot(1,2,2);
plot(mm,v);grid on;xlabel('Зазор,м');ylabel('Скорость,м/с');

```

Порядок работы с Notebook

Прежде, чем начать работу с программой в системе **Notebook**, Вам необходимо ознакомиться с меню системы **Notebook**:

Меню системы Notebook

Define Input Cell (Создать ячейку ввода)
 Define Autolnit Cell (Создать ячейку автостарта)
 Define Calc Zone (Создать зону вычислений)
 Undefine Cells (Преобразовать ячейки в текст)
 Ungroup Cells (Преобразовать группу ячеек в ячейки ввода)
 Hide/Show Cell Markers (Скрыть/Показать маркеры ячейки)
 Toggle Graph Output for Cell (Запретить/Разрешить вывод графики)
 Evaluate Cell (Вычислить ячейку)
 Evaluate Calc Zone (Вычислить зону)
 Evaluate M-book (Вычислить M-книгу)

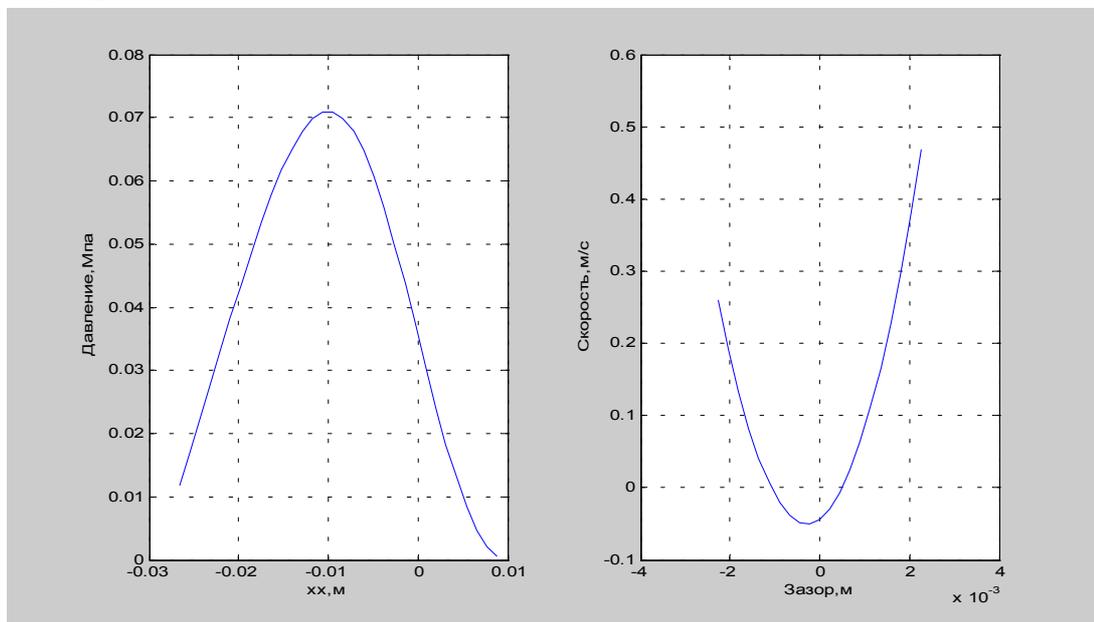
Далее необходимо проделать следующие операции:

1. В Skript-файл программы ввести заданные входные данные.
2. Выделить фрагмент программы, не обозначенный знаком " % ".
3. Войти в Notebook (верхнее меню).
4. В открывшемся меню выбрать команду:
 Define Autolnit Cell(Создать ячейку автостарта).В результате выделенная часть программы будет иметь другой цвет(синий).

5. Курсор поставить в выделенную часть в любое место.
6. Войти снова в Notebook
7. В открывшемся меню выбрать команду Evaluate Cell (Вычислить ячейку).
8. В результате выполнения программы получите ответ в виде расчетных значений основных показателей процесса и эюр скоростей и давления в межвалковом зазоре.
9. Преобразование выделенного текста в формат Word. Для этого курсор поставить в преобразуемый текст и выполнить команду в меню Notebook Undefine Cells (Преобразовать ячейки в текст).

Пример расчетных данных

Положение запаса $z_{ар} =$
0.0266
Положение точки отрыва $x_{отр} =$
0.0100
Толщина формируемого листа, м $h_2 =$
0.0011
Максимальное давление p_0
0.0709
в точке $x_m =$
-0.0100





.....,
 :
 f , вязкость расплава w (Па*с) и скорость вращения валка v_0 (м/с). Остальные входные данные в работе считаются постоянными и заданы в программе. Варианты заданий приведены в таблице.

№ задания	f	W (Па*с)	v_0 (м/с)
1	1, 1.2, 1.4, 1.6	400	0.2
2	1	50, 100, 150, 200	0.25
3	1	300	0.1, 0.2, 0.3, 0.4



1. ?
2. ?
3. ?
4. ?
5. ?



1. Цель работы.
2. Краткое теоретическое введение.
3. Экспериментальная часть в соответствии с вариантом задания.
4. Графическая часть.
 - графики распределения скорости в межвалковом зазоре
 - графики распределения давления
5. Заключение и выводы.