МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_­\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Кафедра динамики и прочности машин

­­

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по курсу:

**ДИНАМИКА МАШИН**

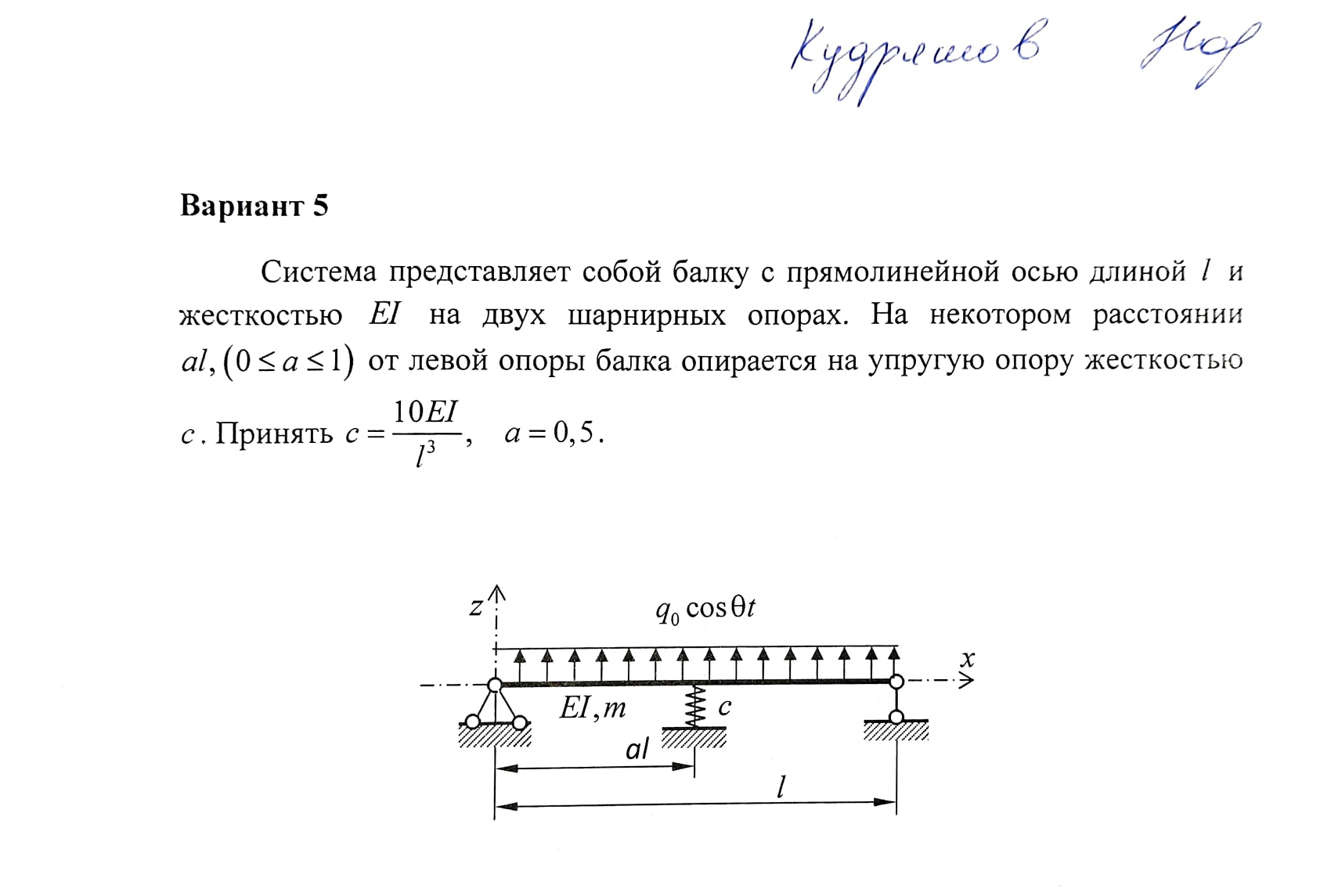
Студент: Кудряшов М. А.

Группа: С-06-18

Преподаватель: Новикова О.В.

Москва 2022

1. **Для заданной схемы записать уравнение собственных колебаний и граничные условия. Прямым методом определить несколько низших частот.**



Рассмотрим два участка: 0<x<aL и aL<x<L

Уравнения собственных изгибных колебаний будут иметь вид:

1-й участок:

2-й участок:

Граничные условия:

при :

при

при

а поперечная сила при переходе с 1-го участка на 2-й претерпевает скачок. Из уравнений равновесия следует

Решение представим в виде

Запишем решения уравнений для обоих участков как

Запишем граничные условия:

При

При

При

Составим систему уравнений для определения постоянных интегрирования

1.

2.

5.

6.

7.

8.

3.

4.

Тогда матрица A примет вид:

Условие нетривиальности решения для постоянных дает трансцендентное уравнение для определения параметров

.

После определения корней этого уравнения собственные частоты системы определяются как

Найдём частоты собственных колебаний и построим их формы при помощи Matlab

равны:

Частоты равны:

Формы колебаний имеют вид:

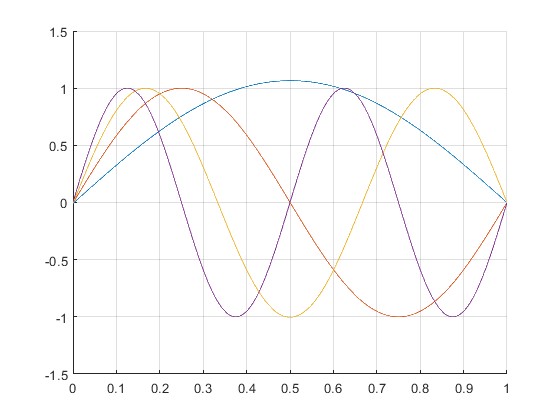


График нахождения частот имеет вид:



1. Согласно методу разложения решения по формам собственных колебаний определить матричное уравнение относительно обобщенных координат и вектор обобщенных сил.

Представим решение  этого уравнения в виде ряда по формам собственных колебаний



где вектор обобщенных координат, вектор форм собственных колебаний, параметры, определяемые для заданной системы из частотного уравнения (2), число удерживаемых членов ряда.

В скалярной форме разложение имеет вид



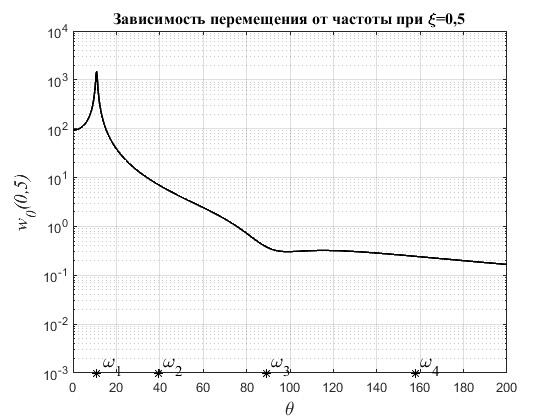
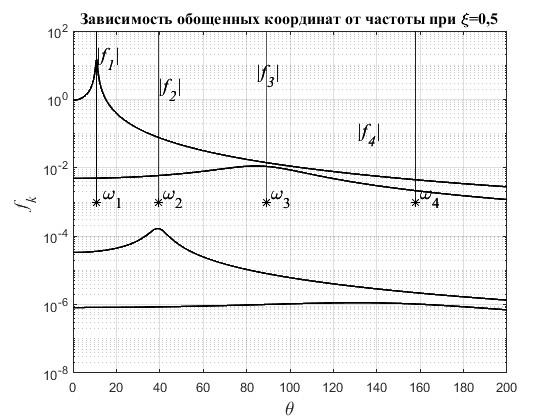
Применим к уравнению вынужденных колебаний процедуру метода Бубнова-Галеркина. Для этого подставим в уравнение разложение прогиба в ряд. Затем поочередно умножим полученное уравнение на каждую собственную форму  и проинтегрируем полученные выражения по от 0 до 1. В результате придем к уравнениям относительно обобщенных координат. Матричную форму этих уравнений можно записать в виде

Матрицы  и  размерностью и вектор обобщенных сил  вычисляются по формулам

Найдем матрицы A, C и вектор обобщенных сил Q через Matlab:

1. Для характерного сечения системы при выбранных значениях характеристик внутреннего и внешнего трения (ε*e*=0.05, ε*i*=0.005) построить амплитудно-частотную характеристику.

Построим графики АЧХ при помощи Matlab



Код Matlab используемый для решения:

syms C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 x

syms B

phi1 = C1\*sin(B\*x)+C2\*cos(B\*x)+C3\*sinh(B\*x)+C4\*cosh(B\*x);

phi2 = C5\*sin(B\*x)+C6\*cos(B\*x)+C7\*sinh(B\*x)+C8\*cosh(B\*x);

n = 4;

gamma = 10;

eqns = [subs(phi1, x, 0) == 0

subs(diff(phi1, x, 2), x, 0)==0

subs(phi1, x, 0.5) == subs(phi2, x, 0.5)

subs(diff(phi1, x, 1), x, 0.5) == subs(diff(phi2, x, 1), x, 0.5)

subs(diff(phi1, x, 2), x, 0.5) == subs(diff(phi2, x, 2), x, 0.5)

subs(diff(phi1, x, 3), x, 0.5)-gamma\*subs(phi1, x, 0.5)-subs(diff(phi2, x, 3), x, 0.5) == 0

subs(phi2, x, 1) == 0

subs(diff(phi2, x, 2), x, 1)==0]

vars = [C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8]

[A, b] = equationsToMatrix(eqns, vars)

step = 0.01;

bet = 0:step:15;

L = length(bet);

detA = zeros(1, L);

beta = zeros(1,4);

j = 1;

for i=1:L

detA(i)=det(double(subs(A, B, bet(i))));

i

end

for i=2:L-1

if (sign(detA(i))~=sign(detA(i+1)))

beta(j)=bet(i)+step/2

j=j+1;

end

end

%beta = [3.2950, 6.2850, 9.4350, 12.5650]

om = beta.^2;

CC = cell(4, 1)

R\_eqns = cell(4, 1)

for i=1:4

R\_eqns{i} = subs(eqns, B, beta(i))

A = equationsToMatrix(R\_eqns{i}, vars)

C=zeros(8,1);

C(1)=1;

C(2:8)=A(2:8,2:8)^(-1)\*(-A(2:8,1));

CC{i} = C;

end

dx = 0.001;

Y = cell(4,1);

R\_Y = cell(4,1);

X1 = 0:dx:0.5;

X2 = 0.5:dx:1;

m = length(X1);

X = [X1, X2];

figure(1)

hold on

for i=1:4

%Y1 = zeros(1, m);

%Y2 = zeros(1, m);

%for k=1:m

%Y1(k) = CC{i}(1)\*sin(beta(i)\*X1(k))+CC{i}(2)\*cos(beta(i)\*X1(k))+CC{i}(3)\*sinh(beta(i)\*X1(k))+CC{i}(4)\*cosh(beta(i)\*X1(k));

%Y2(k) = CC{i}(5)\*sin(beta(i)\*X2(k))+CC{i}(6)\*cos(beta(i)\*X2(k))+CC{i}(7)\*sinh(beta(i)\*X2(k))+CC{i}(8)\*cosh(beta(i)\*X2(k));

Y1 = CC{i}(1)\*sin(beta(i)\*x)+CC{i}(2)\*cos(beta(i)\*x)+CC{i}(3)\*sinh(beta(i)\*x)+CC{i}(4)\*cosh(beta(i)\*x);

Y2 = CC{i}(5)\*sin(beta(i)\*x)+CC{i}(6)\*cos(beta(i)\*x)+CC{i}(7)\*sinh(beta(i)\*x)+CC{i}(8)\*cosh(beta(i)\*x);

%end

Y{i} = double([subs(Y1, x, X1), subs(Y2, x, X2)]);

plot(X,Y{i})

end

grid on

hold off

Y1(end)

YY = [Y{1}; Y{2};Y{3};Y{4}]

R\_A = diag(dx\*trapz((YY').^2));

R\_C = diag(dx\*trapz(YY'.\*beta.^4.\*YY'));

"GEGG"

Q = dx\*trapz(YY,2);

qst =R\_C^-1\*Q;

wst = abs(qst'\*YY(:,m));

ksi = 0.5;

theta0 = 0;

thetaf = 200;

epse = 0.05;

epsi = 0.005;

N = 2001;

dtheta=(thetaf-theta0)/(N-1);

f=zeros(n,N);

ff=zeros(n,N);

psi=zeros(n,N);

theta=zeros(1,N);

w = zeros(1, N);

for k=1:N

theta(k)=theta0+(k-1)\*dtheta;

D=(1+1i\*epsi\*theta(k))\*R\_C+(2i\*epse\*theta(k)-theta(k)^2)\*R\_A;

f(:,k)=D^-1\*Q;

ff(:,k)=abs(f(:,k));

ff(:,k)=ff(:,k)/wst;

w(k)=abs(ff(:,k)'\*YY(:,m))/wst; %АЧХ для перемещений в точке ksi

end

for m=1:n

for k=1:N

theta(k)=theta0+(k-1)\*dtheta;

if theta(k)<=om(m)

psi(m,k)=-atan(imag(f(m,k)/real(f(m,k))));

else

psi(m,k)=-atan(imag(f(m,k)/real(f(m,k))))+pi;

end

end

end

figure(4)

semilogy(theta,ff,'Color','black','LineWidth',1.5)

hold on;grid on

plot(om,[0.001,0.001,0.001,0.001],'\*','Color','black')

for j=1:n

plot([om(j) om(j)],[10^-3 10^2],'Color','black')

end

title('Зависимость обощенных координат от частоты при \xi=0,5','Fontname',...

'Times New Roman','fontsize', 12)

ylabel('f\_k','Fontname','Times New Roman','fontsize', 14,...

'FontAngle','italic')

xlabel('\theta','Fontname','Times New Roman','fontsize', 14)

text(om(1)+3,1.5\*10^-3,'\omega\_1','fontsize', 14,...

'Fontname','Times New Roman')

text(om(2)+2,1.5\*10^-3,'\omega\_2','fontsize', 14,...

'Fontname','Times New Roman')

text(om(3)+2,1.5\*10^-3,'\omega\_3','fontsize', 14,...

'Fontname','Times New Roman')

text(om(4)+2,1.5\*10^-3,'\omega\_4','fontsize', 14,...

'Fontname','Times New Roman')

[f1,t1]=max(ff(1,:));

[f2,t2]=max(ff(2,:));

[f3,t3]=max(ff(3,:));

[f4,t4]=max(ff(4,:));

text(theta(t1),f1+2,'|f\_1|','fontsize', 14,'Fontname','Times New Roman',...

'FontAngle','italic')

text(theta(t2),f2+2,'|f\_2|','fontsize', 14,'Fontname','Times New Roman',...

'FontAngle','italic')

text(theta(t3),f3+5,'|f\_3|','fontsize', 14,'Fontname','Times New Roman',...

'FontAngle','italic')

text(theta(t4),f4+0.1,'|f\_4|','fontsize', 14,'Fontname','Times New Roman',...

'FontAngle','italic')

figure(5)

semilogy(theta,w,'Color','black','LineWidth',1.5)

hold on;grid on

plot(om,[0.001,0.001,0.001,0.001],'\*','Color','black')

for j=1:n

plot([om(j) om(j)],[0 3.5],'Color','black')

end

title('Зависимость перемещения от частоты при \xi=0,5','Fontname',...

'Times New Roman','fontsize', 12)

ylabel('w\_0(0,5)','Fontname','Times New Roman','fontsize', 14,...

'FontAngle','italic')

xlabel('\theta','Fontname','Times New Roman','fontsize', 14)

text(om(1)+3,1.5\*10^-3,'\omega\_1','fontsize', 14,...

'Fontname','Times New Roman')

text(om(2)+2,1.5\*10^-3,'\omega\_2','fontsize', 14,...

'Fontname','Times New Roman')

text(om(3)+2,1.5\*10^-3,'\omega\_3','fontsize', 14,...

'Fontname','Times New Roman')

text(om(4)+2,1.5\*10^-3,'\omega\_4','fontsize', 14,...

'Fontname','Times New Roman')