

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В. Г. ШУХОВА» (БГТУ им. В.Г. Шухова)

Кафедра программного обеспечения вычислительной техники и
автоматизированных систем

Лабораторная работа №1

по дисциплине: «Системное моделирование »

Выполнил: ст. группы ПВ-211

Чувилко Илья Романович

Проверил:

Полунин Александр Иванович

Белгород 2023 г.

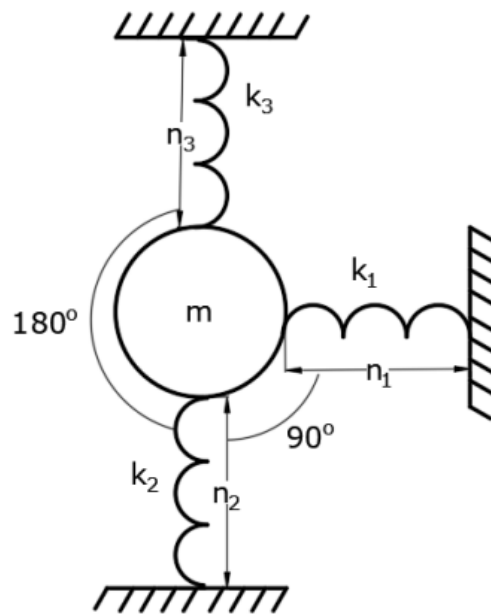
Поведение механических систем в статике

Вариант 2

Цель работы:

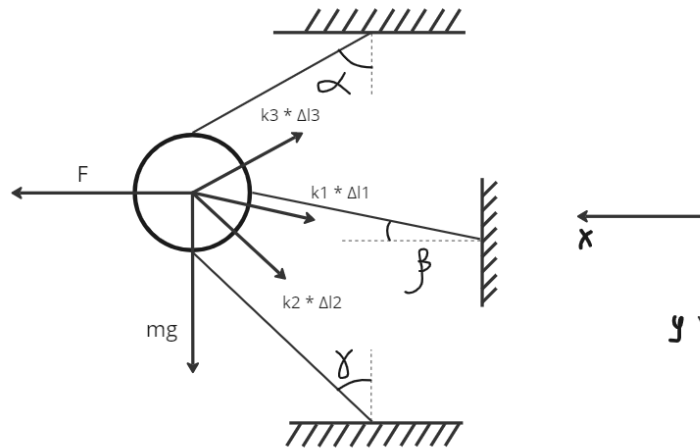
1. Разработать математическую модель, описывающую поведение элементов механической системы в статике при действии возмущающей силы или момента (конкретный вариант табл. 1). Если в системе есть угловое движение, то возмущением является момент, приложенный к элементу с угловым движением, если нет, то сила, приложенная к элементу с линейным движением.
2. Разработать программу на основании математической модели, отладить ее и произвести расчёты, при каком значении возмущающей силы или момента происходит бифуркация поведения элементов системы, т.е. статическое состояние переходит в динамическое, возникает движение элементов системы.

Ход работы:



$$\begin{aligned} K_1 &= 20000; k_2 = 10000; \\ k_3 &= 40000; n_1 = 1; m = 10; \\ n_2 &= 0.5; n_3 = 0.7. \end{aligned}$$

Для данной системы расставим на рисунке векторы сил и добавим возмущающую силу, приложенную к телу m и направленную влево



$$\begin{aligned} \partial y: & mg + k_1 \cdot \left(\sqrt{(n_1+x)^2+y^2} - n_1 \right) \cdot \frac{y}{\sqrt{(n_1+x)^2+y^2}} - k_2 \left(\sqrt{(n_2+y)^2+x^2} - n_2 \right) \frac{n_2-y}{\sqrt{(n_2+y)^2+x^2}} - \\ & - k_3 \left(\sqrt{(n_3+y)^2+x^2} - n_3 \right) \cdot \frac{n_3+y}{\sqrt{(n_3+y)^2+x^2}} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial x: & F - k_1 \cdot \left(\sqrt{(n_1+x)^2+y^2} - n_1 \right) \frac{(n_1+x)}{\sqrt{(n_1+x)^2+y^2}} - k_2 \left(\sqrt{(n_2+y)^2+x^2} - n_2 \right) \frac{x}{\sqrt{(n_2+y)^2+x^2}} - \\ & - k_3 \left(\sqrt{(n_3+y)^2+x^2} - n_3 \right) \cdot \frac{x}{\sqrt{(n_3+y)^2+x^2}} = 0 \end{aligned}$$

miro

Для полученной системы составим систему алгебраических уравнений, которую будем решать численным методом Ньютона.

```
#include <iostream>
#include <cmath>
#include <vector>
#include <iomanip>
#include "Matrix.h"
```

```
using namespace std;
```

```
#define k1 20000
#define k2 10000
#define k3 40000
#define n1 1
#define n2 0.5
#define n3 0.7
#define m 10
#define g 10
#define dif 0.001
```

```

////////////////////////////////////

double equationOY(double x, double y) {
    double c1 = sqrt(pow(n1 + x, 2) + y * y);
    double c2 = sqrt(pow(n2 - y, 2) + x * x);
    double c3 = sqrt(pow(n3 + y, 2) + x * x);
    return m * g
        - k1 * (c1 - n1) * y / c1
        + k2 * (c2 - n2) * (n2 - y) / c2
        - k3 * (c3 - n3) * (n3 + y) / c3;
}

double equationOYDerivativeX(double x, double y) {
    return (equationOY(x + dif, y) - equationOY(x - dif, y)) / (2 * dif);
}

double equationOYDerivativeY(double x, double y) {
    return (equationOY(x, y + dif) - equationOY(x, y - dif)) / (2 * dif);
}

////////////////////////////////////

double equationOX(double x, double y, double F) {
    double c1 = sqrt(pow(n1 + x, 2) + y * y);
    double c2 = sqrt(pow(n2 - y, 2) + x * x);
    double c3 = sqrt(pow(n3 + y, 2) + x * x);
    return F
        - k1 * (c1 - n1) * (n1 + x) / c1
        - k2 * (c2 - n2) * x / c2
        - k3 * (c3 - n3) * x / c3;
}

double equationOXDerivativeX(double x, double y, double F) {
    return (equationOX(x + dif, y, F) - equationOX(x - dif, y, F)) / (2 * dif);
}

double equationOXDerivativeY(double x, double y, double F) {
    return (equationOX(x, y + dif, F) - equationOX(x, y - dif, F)) / (2 * dif);
}

\

int main() {
    cout << setw(3) << "F |" << setw(13) << "x |" << setw(14) << "y |" << "n";
    for (double F = 0; F < 100000; F += 1000) {
        // x, y
        vector<double> Values(2);
        for (int i = 0; i < 100; i++) {
            matrix w = {{equationOXDerivativeX(Values[0], Values[1], F),
                        equationOXDerivativeY(Values[0], Values[1], F)},
                        {equationOYDerivativeX(Values[0], Values[1]),

```

```

        equationOYDerivativeY(Values[0], Values[1]));
Matrix W(w);
W.inverse();

vector<double> fVal = {equationOX(Values[0], Values[1], F),
    equationOY(Values[0], Values[1])};
vector<double> ffff = Matrix::Multiplication(W, fVal);
Values[0] -= ffff[0];
Values[1] -= ffff[1];
}
cout << setw(8) << F << " |" << setprecision(3) << setw(7)
    << Values[0] * 100 << " cm |" << setprecision(3)
    << setw(7) << Values[1] * 100 << " cm \n";
}

return 0;
}

```

F	x	y
0	-0.000199 cm	0.2 cm
1e+03	4.95 cm	0.108 cm
2e+03	9.75 cm	-0.149 cm
3e+03	14.3 cm	-0.544 cm
4e+03	18.5 cm	-1.05 cm
5e+03	22.5 cm	-1.66 cm
6e+03	26.2 cm	-2.33 cm
7e+03	29.7 cm	-3.06 cm
8e+03	33 cm	-3.83 cm
9e+03	36.1 cm	-4.64 cm
1e+04	39.1 cm	-5.47 cm
1.1e+04	42 cm	-6.31 cm
1.2e+04	44.7 cm	-7.15 cm
1.3e+04	47.3 cm	-8 cm
1.4e+04	49.8 cm	-8.84 cm
1.5e+04	52.3 cm	-9.66 cm
1.6e+04	54.6 cm	-10.5 cm
1.7e+04	56.9 cm	-11.3 cm
1.8e+04	59.1 cm	-12 cm
1.9e+04	61.3 cm	-12.8 cm
2e+04	63.4 cm	-13.5 cm
2.1e+04	65.4 cm	-14.2 cm
2.2e+04	67.4 cm	-14.9 cm
2.3e+04	69.4 cm	-15.5 cm
2.4e+04	71.3 cm	-16.1 cm
2.5e+04	73.2 cm	-16.7 cm
2.6e+04	75.1 cm	-17.3 cm
2.7e+04	76.9 cm	-17.9 cm
2.8e+04	78.7 cm	-18.4 cm
2.9e+04	80.5 cm	-18.9 cm

3e+04	82.2 cm	-19.4 cm
3.1e+04	83.9 cm	-19.8 cm
3.2e+04	85.7 cm	-20.3 cm
3.3e+04	87.4 cm	-20.7 cm
3.4e+04	89 cm	-21.1 cm
3.5e+04	90.7 cm	-21.5 cm
3.6e+04	92.3 cm	-21.8 cm
3.7e+04	94 cm	-22.2 cm
3.8e+04	95.6 cm	-22.5 cm
3.9e+04	97.2 cm	-22.8 cm
4e+04	98.8 cm	-23.1 cm
4.1e+04	100 cm	-23.4 cm
4.2e+04	102 cm	-23.7 cm
4.3e+04	104 cm	-24 cm
4.4e+04	105 cm	-24.2 cm
4.5e+04	107 cm	-24.5 cm
4.6e+04	108 cm	-24.7 cm
4.7e+04	110 cm	-24.9 cm
4.8e+04	111 cm	-25.1 cm
4.9e+04	113 cm	-25.3 cm
5e+04	114 cm	-25.6 cm
5.1e+04	116 cm	-25.7 cm
5.2e+04	118 cm	-25.9 cm
5.3e+04	119 cm	-26.1 cm
5.4e+04	121 cm	-26.3 cm
5.5e+04	122 cm	-26.4 cm
5.6e+04	124 cm	-26.6 cm
5.7e+04	125 cm	-26.8 cm
5.8e+04	127 cm	-26.9 cm
5.9e+04	128 cm	-27 cm
6e+04	130 cm	-27.2 cm
6.1e+04	131 cm	-27.3 cm
6.2e+04	133 cm	-27.4 cm
6.3e+04	134 cm	-27.6 cm
6.4e+04	136 cm	-27.7 cm
6.5e+04	137 cm	-27.8 cm
6.6e+04	139 cm	-27.9 cm
6.7e+04	140 cm	-28 cm
6.8e+04	142 cm	-28.1 cm
6.9e+04	143 cm	-28.2 cm
7e+04	145 cm	-28.3 cm
7.1e+04	146 cm	-28.4 cm
7.2e+04	147 cm	-28.5 cm
7.3e+04	149 cm	-28.6 cm
7.4e+04	150 cm	-28.7 cm
7.5e+04	152 cm	-28.8 cm
7.6e+04	153 cm	-28.8 cm
7.7e+04	155 cm	-28.9 cm
7.8e+04	156 cm	-29 cm
7.9e+04	158 cm	-29.1 cm
8e+04	159 cm	-29.1 cm
8.1e+04	161 cm	-29.2 cm

8.2e+04		162 cm		-29.3 cm	
8.3e+04		164 cm		-29.3 cm	
8.4e+04		165 cm		-29.4 cm	
8.5e+04		167 cm		-29.5 cm	
8.6e+04		168 cm		-29.5 cm	
8.7e+04		169 cm		-29.6 cm	
8.8e+04		171 cm		-29.7 cm	
8.9e+04		172 cm		-29.7 cm	
9e+04		174 cm		-29.8 cm	
9.1e+04		175 cm		-29.8 cm	
9.2e+04		177 cm		-29.9 cm	
9.3e+04		178 cm		-29.9 cm	
9.4e+04		180 cm		-30 cm	
9.5e+04		181 cm		-30 cm	
9.6e+04		183 cm		-30.1 cm	
9.7e+04		184 cm		-30.1 cm	
9.8e+04		186 cm		-30.1 cm	
9.9e+04		187 cm		-30.2 cm	

Вывод: в ходе лабораторной работы мы научились разрабатывать математическую модель, описывающую поведение элементов механической системы в статике при действии возмущающей силы или момента.