МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

(БГТУ им. Шухова)

Кафедра программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

Дисциплина: Системное моделирование

Лабораторная работа №5

Оценка вероятностных характеристик фазовых координат систем

Выполнил:

студент группы ПВ-22

Артеменко И. А.

Белгород 2020

Цель работы

1. Изучить метод Доступова для оценки вероятностных характеристик фазовых координат систем.

2. Разработать программу для оценки вероятностных характеристик вектора X на момент времени tk (конкретный вариант).

Вариант №1

Варианты заданий

Таблица 4

№ вар	Система дифференциальных уравнений	σ_{X1}	σ_{X2}	m_1	m_2	t_k
1	2	3	4	5	6	7
1	$\frac{dx_1}{dt} = \cos x_1 - x_2$ $\frac{dx_2}{dt} = \sin x_1 t + x_2$	1	2	0	0.5	30

Выполнение

Артеменко Илья, ПВ-22

Системное моделирование

Лабораторная работа №5

Вариант №1

Задание:

$$\frac{dx_1}{dt} = \cos x_1 - x_2 \qquad \sigma_{x_1} = 1,\ \sigma_{x_2} = 2$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \sin x_1 t + x_2 \qquad m_1 = 0,\ m_2 = 0{,}5$$

$$t_k = 1,\ m = 2$$

Решение:

1. Найдем ξ_1 и ξ_2:

$\xi_1 = \sigma_{x_1}\sqrt{m} \approx 1{,}41$

$\xi_2 = \sigma_{x_2}\sqrt{m} \approx 2{,}82$

2. Зададим системы случайных величин:

	V_1	V_2
1	ξ_1	0
2	0	ξ_2
3	ξ_1	ξ_2
4	$-\xi_1$	$-\xi_2$

3. Зададим четыре набора начальных условий:

1) $x_{01} = m_1 + \xi_1 = 1{,}41$

$x_{02} = m_2 + 0 = 0{,}5$

2) $x_{01} = m_1 + 0 = 0$

$x_{02} = m_2 + \xi_2 = 3{,}33$

3) $x_{01} = m_1 + \xi_1 = 1{,}41$

$x_{02} = m_2 + \xi_2 = 3{,}33$

4) $x_{01} = m_1 - \xi_1 = -1{,}41$

$x_{02} = m_2 - \xi_2 = -2{,}33$

4. Интегрируем четыре раза систему дифференциальных уравнений, каждый раз используя новый набор начальных условий. В результате получим четыре набора фазовых координат за момент времени t_k:

1) $x_{11} = 0{,}75$

$x_{21} = 1{,}99$

2) $x_{12} = -5{,}54$

$x_{22} = 8{,}97$

3) $x_{13} = -3{,}99$

$x_{23} = 8{,}88$

4) $x_{14} = 2{,}87$

$x_{24} = -6{,}03$

5. $m_{1k} = \frac{1}{m}(x_{11} + x_{12}) + \frac{x_{14} - x_{13}}{2m} = -0{,}68$

$m_{2k} = \frac{1}{m}(x_{21} + x_{22}) + \frac{x_{24} - x_{23}}{2m} = 1{,}75$

6. $\sigma_{1k} = \frac{1}{m}(x_{11}^2 + x_{12}^2) + \frac{x_{14}^2 - x_{13}^2}{2m} - m_{1k}^2 = 13{,}24$

$\sigma_{2k} = \frac{1}{m}(x_{21}^2 + x_{22}^2) + \frac{x_{24}^2 - x_{23}^2}{2m} - m_{2k}^2 = 28{,}54$

Исходный код программы

```
import numpy as np
from scipy.integrate import ode

from math import sin
from math import cos
from math import sqrt


def integrate(x01, x02, t0, t1, dt, f):
    y0 = [x01, x02]

    r = ode(f)
    r.set_integrator('dopri5')
    r.set_initial_value(y0, t0)

    t = [t0]
    y = [y0]

    while r.successful() and r.t < t1:
        ti = r.t + dt
        yi = r.integrate(ti)
        t.append(ti)
        y.append(yi)

    t = np.array(t)
    y = np.array(y)

    return y[:, 0][-1], y[:, 1][-1]


def initial_values(m1, m2, v1, v2):
    return m1 + v1, m2 + v2


def math_expect(m, x):
    x1, x2, x3, x4 = x
    return 1/m * (x1 + x2) + (x4 - x3) / (2 * m)


def dispersion(m, mk, x):
    x1, x2, x3, x4 = x
    return 1/m * (x1**2 + x2**2) + (x4**2 - x3**2) / (2 * m) - mk**2


if __name__ == '__main__':

    def func(t, y):
        x1, x2 = y

        return [
            cos(x1) - x2,
```

```
        sin(x1) * t + x2
    ]

sx1, sx2 = 1, 2
m1, m2 = 0, 0.5

m = 2

t0, t1 = 0, 1
dt = 0.0001

e1 = sx1 * sqrt(m)
e2 = sx2 * sqrt(m)

vs = [[ e1,   0],
      [  0,  e2],
      [ e1,  e2],
      [-e1, -e2]]

fmt = f'0.2f'
x = []

for v in vs:
    v1, v2 = v
    x01, x02 = initial_values(m1, m2, v1, v2)
    x1, x2 = integrate(x01, x02, t0, t1, dt, func)

    x.append((x1, x2))

    print(f'x01 = {x01 : {fmt}}, x02 = {x02 : {fmt}}')
    print(f'x1  = {x1  : {fmt}},  x2 = {x2  : {fmt}}')
    print()

x = np.array(x)

x1 = x[:, 0]
x2 = x[:, 1]

mk1 = math_expect(m, x1)
mk2 = math_expect(m, x2)

dk1 = dispersion(m, mk1, x1)
dk2 = dispersion(m, mk2, x2)

print(f'mk1 = {mk1 : {fmt}}, mk2 = {mk2 : {fmt}}')
print(f'dk1 = {dk1 : {fmt}}, dk2 = {dk2 : {fmt}}')
```

Результат работы программы:

```
x01 =  1.41, x02 =  0.50
x1  =  0.75,  x2 =  1.99

x01 =  0.00, x02 =  3.33
x1  = -5.54,  x2 =  8.97

x01 =  1.41, x02 =  3.33
x1  = -3.99,  x2 =  8.88

x01 = -1.41, x02 = -2.33
x1  =  2.87,  x2 = -6.03

mk1 = -0.68, mk2 =  1.75
dk1 =  13.24, dk2 =  28.54
```

Вывод: в этой лабораторной работе я изучил метод Доступова для оценки вероятностных характеристик фазовых координат систем, а также разработал программу для оценки вероятностных характеристик вектора X на момент времени tk (моего варианта).