

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**« Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева »**

# **ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1**

## **Вариант 7**

**Выполнил студент группы КС-36: Золотухин Андрей Александрович**

Ссылка на репозиторий: [https://github.com/  
CorgiPuppy/  
info-processes-systems-theory-labs](https://github.com/CorgiPuppy/info-processes-systems-theory-labs)

Принял: Зинченко Дарья Ивановна

Дата сдачи: 26.11.25

**Москва**

**2025**

# Оглавление

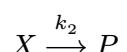
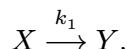
|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Описание задачи .....       | 3  |
| Работа 1.1 .....            | 3  |
| Работа 1.2 .....            | 3  |
| Работа 1.3 .....            | 3  |
| Работа 1.4 .....            | 4  |
| Работа 1.5 .....            | 4  |
| Работа 1.6 .....            | 4  |
| Выполнение задачи .....     | 5  |
| Работа 1.1 .....            | 5  |
| Аналитическое решение ..... | 5  |
| Алгоритм программы .....    | 5  |
| Графики .....               | 5  |
| Код .....                   | 5  |
| Выполнение задачи .....     | 6  |
| Работа 1.2 .....            | 6  |
| Аналитическое решение ..... | 6  |
| Алгоритм программы .....    | 6  |
| Графики .....               | 6  |
| Код .....                   | 6  |
| Выполнение задачи .....     | 6  |
| Работа 1.3 .....            | 6  |
| Аналитическое решение ..... | 7  |
| Алгоритм программы .....    | 7  |
| Графики .....               | 7  |
| Код .....                   | 7  |
| Выполнение задачи .....     | 8  |
| Работа 1.4 .....            | 8  |
| Аналитическое решение ..... | 8  |
| Алгоритм программы .....    | 8  |
| Графики .....               | 8  |
| Код .....                   | 8  |
| Выполнение задачи .....     | 9  |
| Работа 1.5 .....            | 9  |
| Аналитическое решение ..... | 9  |
| Алгоритм программы .....    | 9  |
| Графики .....               | 9  |
| Код .....                   | 9  |
| Выполнение задачи .....     | 10 |
| Работа 1.6 .....            | 10 |
| Аналитическое решение ..... | 10 |
| Алгоритм программы .....    | 10 |
| Графики .....               | 10 |
| Код .....                   | 10 |
| Выводы .....                | 11 |

## Описание задачи

1. Аналитическим способом найти стационарную точку и определить характер её устойчивости по 1-ому методу Ляпунова;
2. Написать программу, решающую систему ДУ и строящую следующие графики:
  1. фазовый портрет системы. Подберите начальные условия, шаг по времени и масштаб таким образом, чтобы тип точки и ее координаты на графике были очевидны (в случае неустойчивой точки начальные условия рекомендуется задавать как можно ближе к неподвижной точке). Число траекторий не меньше восьми!
  2. зависимости  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$  - динамику системы во времени (таким образом, чтобы поведение системы в окрестности неподвижной точки и ее координаты были очевидны.) На одном графике должно быть несколько линий динамики при разных начальных условиях.

### Работа 1.1

В реакторе идеального смешения непрерывного действия протекают реакции по схеме:



Математическая модель реактора имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \frac{1}{\tau}(x_0 - x) - k_1 x, \\ \frac{dy}{dt} = -\frac{1}{\tau}y + k_1 x - k_2 y. \end{cases}$$

Значения параметров процесса:  $x_0 = 6$ ,  $k_1 = 2$ ,  $k_2 = \frac{1}{3}$ ,  $\tau = 1$ .

Построить фазовый портрет системы - график в координатах  $(x, y)$ .

Для решения использовать явную схему Эйлера:

$$\begin{cases} \frac{x^{n+1} - x^n}{\Delta t} = \frac{1}{\tau}(x_0 - x^n) - k_1 x^n, \\ \frac{y^{n+1} - y^n}{\Delta t} = \frac{1}{\tau}y^n + k_1 x^n - k_2 y^n. \end{cases}$$

### Работа 1.2

Система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_1 + 5, \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{2}{3}x_2 - 5. \end{cases}$$

Для решения использовать неявную схему Эйлера:

$$\begin{cases} \frac{x^{n+1} - x^n}{\Delta t} = f(x_1^{n+1}), \\ \frac{y^{n+1} - y^n}{\Delta t} = f(x_2^{n+1}). \end{cases}$$

### Работа 1.3

Система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -\frac{2}{3}x_1 - 4, \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{2}{5}x_2. \end{cases}$$

Для решения использовать схему Эйлера:

$$\begin{cases} \frac{x_1^{n+1} - x_1^n}{\Delta t} = f(x_1^{n+1}), \\ \frac{x_2^{n+1} - x_2^n}{\Delta t} = f(x_2^n). \end{cases}$$

## Работа 1.4

Математическая модель процесса кристаллизации в реакторе (с учётом растворения мелких частиц и кристаллизации крупных) имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{d\mu_0}{dt} = k\mu_1 - b + q, \\ \frac{d\mu_1}{dt} = \mu_0(\eta_1 - \eta_2) + d, \end{cases}$$

где  $\mu_0$  - нулевой момент функции распределения кристаллов по размерам, характеризующий общее количество частиц в единице объёма реактора;  $\mu_1$  - первый момент функции распределения, характеризующий суммарный линейный размер кристаллов;  $k$  - константа скорости образования зародышей;  $k\mu_1$  - скорость образования зародышей;  $b$  - скорость отбора зародышей;  $q$  - скорость пополнения крупными частицами;  $\eta_1$  - скорость роста кристаллов;  $\eta_2$  - скорость растворения кристаллов;  $d$  - суммарный линейный размер поступающих частиц.

Значения параметров процесса:  $k = \frac{3}{7}$ ,  $b = \frac{9}{2}$ ,  $q = 3$ ,  $\eta_1 = \frac{3}{7}$ ,  $\eta_2 = 1$ ,  $d = 2$ .

Для решения использовать явную схему Эйлера:

$$\begin{cases} \frac{\mu_0^{n+1} - \mu_0^n}{\Delta t} = k\mu_1^n - b + q, \\ \frac{\mu_1^{n+1} - \mu_1^n}{\Delta t} = \mu_0^n(\eta_1 - \eta_2) + d. \end{cases}$$

## Работа 1.5

Система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -2x_1 - 2x_2 + 6, \\ \frac{dx_2}{dt} = 3x_1 - 3x_2. \end{cases}$$

Для решения использовать схему Эйлера:

$$\begin{cases} \frac{x_1^{n+1} - x_1^n}{\Delta t} = f(x_1^{n+1}, x_2^n), \\ \frac{x_2^{n+1} - x_2^n}{\Delta t} = f(x_1^n, x_2^{n+1}). \end{cases}$$

## Работа 1.6

Система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = 333x_1 - x_2 + 2, \\ \frac{dx_2}{dt} = 4x_1 + 3x_2 + 7. \end{cases}$$

Для решения использовать схему Эйлера:

$$\begin{cases} \frac{x_1^{n+1} - x_1^n}{\Delta t} = f(x_1^{n+1}, x_2^n), \\ \frac{x_2^{n+1} - x_2^n}{\Delta t} = f(x_1^n, x_2^{n+1}). \end{cases}$$

# **Выполнение задачи**

## **Работа 1.1**

**Аналитическое решение**

**Алгоритм программы**

**Графики**

**Код**

## **Выполнение задачи**

### **Работа 1.2**

**Аналитическое решение**

**Алгоритм программы**

**Графики**

**Код**

## **Выполнение задачи**

### **Работа 1.3**

**Аналитическое решение**

**Алгоритм программы**

**Графики**

**Код**

# **Выполнение задачи**

## **Работа 1.4**

**Аналитическое решение**

**Алгоритм программы**

**Графики**

**Код**

# **Выполнение задачи**

## **Работа 1.5**

**Аналитическое решение**

**Алгоритм программы**

**Графики**

**Код**

# **Выполнение задачи**

## **Работа 1.6**

**Аналитическое решение**

**Алгоритм программы**

**Графики**

**Код**

## **Выводы**