

Совместный бакалавриат ВШЭ-РЭШ, 2013—14 уч. год

Дифференциальные уравнения

Домашнее задание №2: Первые интегралы, однородные уравнения и все-все-все

И. А. Хованская, И. В. Щуров, П. Ф. Соломатин, А. Петрин, Н. Солодовников

Фамилия и имя студента: Куприянова Анна Анатольевна

Напоминаем вам, что куда лучше вообще не сдавать задание или сдать частично сделанное задание, чем сдать хотя бы частично списанный текст.

**Задача 1.** Рассмотрим уравнение:  $\dot{x} = -4\frac{x}{t}$ .

а. Найти общий вид решений.

б. Выразить явно решения со следующими начальными условиями. Указать область определения каждого решения. Построить соответствующие интегральные кривые.

•  $x(1) = 1$ ,

•  $x(-1) = 1$ ,

•  $x(1) = 0$ ,

•  $x(1) = -1$ ,

•  $x(-1) = -1$ ,

•  $x(-1) = 0$

**Задача 2.** Рассмотрим уравнение:  $\dot{x} = \frac{1}{2}\frac{x}{t}$ .

а. Найти общий вид решений.

б. Выразить явно решения со следующими начальными условиями. Указать область определения каждого решения. Построить соответствующие интегральные кривые.

•  $x(1) = 1$ ,

•  $x(-1) = 1$ ,

•  $x(1) = 0$ ,

•  $x(1) = -1$ ,

•  $x(-1) = -1$ ,

•  $x(-1) = 0$

**Задача 3.** Рассмотрим уравнение:  $\dot{x} = \frac{1}{3}\frac{t}{x}$ .

а. Найти общий вид решений.

б. Выразить явно решения со следующими начальными условиями. Указать область определения каждого решения. Построить соответствующие интегральные кривые.

•  $x(0) = 2$ ,

•  $x(0) = -1$

**Задача 4.** Рассмотрим уравнение:  $\dot{x} = -\frac{1}{5}\frac{t}{x}$ .

а. Найти общий вид решений.

б. Выразить явно решения со следующими начальными условиями. Указать область определения каждого решения. Построить соответствующие интегральные кривые.

•  $x(0) = 2$ ,

•  $x(0) = -1$

**Задача 5.** [1] Простейшая, самая грубая модель, описывающая борьбу двух видов — хищника и жертвы — состоит в следующем. Рассмотрим пруд, в котором живут рыбы двух видов — скажем, караси и щуки. Если бы щук не было, караси размножились бы экспоненциально, со скоростью  $\dot{x} = kx$ , пропорциональной их количеству  $x$  (мы предполагаем, что суммарная масса карасей много меньше массы пруда). Если  $y$  — количество щук, то следует учесть карасей, съеденных щуками. Мы предположим, что число встреч карасей со щуками пропорционально как числу

карасей, так и числу щук: тогда для скорости изменения числа карасей получим уравнение  $\dot{x} = kx - axy$ .

Что касается щук, то без карасей они вымирают:  $\dot{y} = -ly$ , в присутствии же карасей начинают размножаться со скоростью, пропорциональной числу съеденных карасей:  $\dot{y} = -ly + bxy$ .

Мы приходим, таким образом к системе дифференциальных уравнений простейшей модели системы хищник-жертва (*модели Лотки–Вольтерра*):

$$\begin{cases} \dot{x} = kx - axy, \\ \dot{y} = -ly + bxy. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $a, b, k, l$  — положительные параметры, фазовым пространством является первая четверть  $x \geq 0, y \geq 0$ .

Пусть  $a = 3, b = 2, k = 4$  и  $l = 0.5$ .

- Найти все точки фазового пространства, в которых правая часть равна нулю (*особые точки*).
- Нарисовать векторное поле (1). Отметить кривые (изоклины), на которых векторы векторного поля направлены горизонтально и вертикально.
- Найти и нарисовать ещё одну изоклину, являющуюся прямой (не вертикальной и не горизонтальной).
- Записать неавтономное дифференциальное уравнение, интегральные кривые которого совпадают с фазовыми кривыми системы (1).
- Решить полученное уравнение.
- Найти первый интеграл  $H(x, y)$  для системы (1).
- Найти все точки минимума  $H(x, y)$ .
- Пусть одна из точек минимума, найденных в предыдущем пункте, имеет координаты  $(x_0, y_0)$ . Нарисовать графики функций  $f(x) = H(x, y_0)$  и  $g(y) = H(x_0, y)$ .
- Нарисовать примерно несколько фазовых кривых системы (1). Нарисовать все фазовые кривые, соответствующие постоянным решениям (положения равновесия, они же особые точки).
- Существуют ли периодические решения уравнения (1)?
- Существуют ли решения, не являющиеся периодическими?
- Существуют ли неограниченные решения (то есть решения, траекторию которых нельзя поместить ни в какой круг на фазовом пространстве)?

**Определение 1.** Функция  $F(x, y)$  называется *однородной*, если  $F(\lambda x, \lambda y) = F(x, y)$  для любых  $x, y$ . Уравнение  $y' = F(x, y)$  называется *однородным*, если в правой части стоит однородная функция.

**Задача 6.** Рассмотрим уравнение

$$y' = \frac{x^3 - 4x^2y - 6xy^2 - 15y^3}{-4x^3 - 6x^2y - 15xy^2} \quad (2)$$

- Нарисовать три различные изоклины для уравнения (2).
- Показать, что уравнение является однородным.
- Нарисовать эскиз поля направлений для этого уравнения.
- Рассмотрим замену  $z = y/x$ . Во какие кривые перейдут изоклины, найденные в пункте а, в координатах  $(z, x)$ ? Нарисуйте их.
- Запишите дифференциальное уравнение на новую неизвестную функцию  $z$ .
- Решите уравнение (2).

**Замечание 2.** Аналогичным образом (с помощью замены  $z = y/x$ ) можно любое однородное уравнение свести к уравнению с разделяющимися переменными.

**Задача 7.** Найдите уравнение фазовых кривых (для систем автономных уравнений) или уравнение интегральных кривых (для неавтономных уравнений). Допускается неявное задание кривых.

a. 
$$\begin{cases} \dot{x} = y^2 (-5y^5 \sin(x^3 + y^5) + 3 \cos(x^3 + y^5)) \\ \dot{y} = 3x^2 y^3 \sin(x^3 + y^5) \end{cases}$$

b. 
$$y' = y(-9x^2 + \sin(x)) + (12x^2 + \cos(x)) e^{-3x^3 - \cos(x)}$$

c. 
$$y' = \frac{x^3 + 3x^2 y - 10xy^2 - 12y^3}{3x^3 - 10x^2 y - 12xy^2}$$

d. 
$$\begin{cases} \dot{x} = x^3 + 4x^2 y - 9xy^2 \\ \dot{y} = x^3 + x^2 y + 4xy^2 - 9y^3 \end{cases}$$

e. 
$$dx(-5x^4 \sin(x^5) \cos(y^5)) + dy(-5y^4 \sin(y^5) \cos(x^5)) = 0$$

## Список литературы

- [1] Арнольд В. И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. — Ижевск: Ижевская республиканская типография. 2000. — 368 с.