РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

Факультет физико-математических и естественных наук

Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей

ОТЧЕТ

ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 5

дисциплина: Математическое моделирование

Студент: Тозе Витор Ф

Группа: НФИбд-02-21

МОСКВА

2024 г.

Содержание

Цель работы

Изучить жесткую модель хищник-жертва и построить эту модель.

Теоретическое введение

- Модель Лотки—Вольтерры — модель взаимодействия двух видов типа «хищник — жертва», названная в честь её авторов, которые предложили модельные уравнения независимо друг от друга. Такие уравнения можно использовать для моделирования систем «хищник — жертва», «паразит — хозяин», конкуренции и других видов взаимодействия между двумя видами. [4]

Данная двувидовая модель основывается на следующих предположениях [4]:

1. Численность популяции жертв x и хищников y зависят только от времени (модель не учитывает пространственное распределение популяции на занимаемой территории)

2. В отсутствии взаимодействия численность видов изменяется по модели Мальтуса, при этом число жертв увеличивается, а число хищников падает

3. Естественная смертность жертвы и естественная рождаемость хищника считаются несущественными

4. Эффект насыщения численности обеих популяций не учитывается

5. Скорость роста численности жертв уменьшается пропорционально численности хищников

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \left(-ax(t) + by(t)x(t)\right) \\ \frac{dy}{dt} = \left(cy(t) - dy(t)x(t)\right) \end{cases}$$

В этой модели x – число жертв, y - число хищников. Коэффициент a описывает скорость естественного прироста числа жертв в отсутствие хищников, с - естественное вымирание хищников, лишенных пищи в виде жертв. Вероятность взаимодействия жертвы и хищника считается пропорциональной как количеству жертв, так и числу самих хищников (xy). Каждый акт взаимодействия уменьшает популяцию жертв, но способствует увеличению популяции хищников (члены $-bxy$ и dxy в правой части уравнения).

Математический анализ этой (жёсткой) модели показывает, что имеется стационарное состояние, всякое же другое начальное состояние приводит к периодическому колебанию численности как жертв, так и хищников, так что по прошествии некоторого времени такая система вернётся в изначальное состояние.

Стационарное состояние системы (положение равновесия, не зависящее от времени решения) будет находиться в точке $x_0 = \frac{c}{d}, y_0 = \frac{a}{b}$. Если начальные значения задать в стационарном состоянии $x(0) = x_0, y(0) = y_0$, то в любой момент времени численность популяций изменяться не будет. При малом отклонении от положения равновесия численности как хищника, так и жертвы с течением времени не возвращаются к равновесным значениям, а совершают периодические колебания вокруг стационарной точки. Амплитуда колебаний и их период определяется начальными значениями численностей $x(0), y(0)$. Колебания совершаются в противофазе.

Задачи

1. Построить график зависимости численности хищников от численности жертв

2. Построить график зависимости численности хищников и численности жертв от времени

3. Найти стационарное состояние системы

Задание

Вариант 7:

Для модели «хищник-жертва»:

$$
\begin{cases}
\frac{dx}{dt} = -0.18x(t) + 0.047y(t)x(t) \\
\frac{dy}{dt} = 0.38y(t) - 0.035y(t)x(t)
\end{cases}
$$

Постройте график зависимости численности хищников от численности жертв, а также графики изменения численности хищников и численности жертв при следующих начальных условиях: $x_0 = 12, y_0 = 17$ Найдите стационарное состояние системы.

Выполнение лабораторной работы

Построение математической модели. Решение с помощью программ

Julia

Код программы для нестационарного состояния:

```
using Plots
using DifferentialEquations

x0 = 12
y0 = 17

a = 0.18
b = 0.38
c = 0.047
d = 0.035


function ode_fn(du, u, p, t)
    x, y = u
    du[1] = -a*u[1] + c * u[1] * u[2]
    du[2] = b * u[2] - d * u[1] * u[2]
end

v0 = [x0, y0]
tspan = (0.0, 60.0)
prob = ODEProblem(ode_fn, v0, tspan)
sol = solve(prob, dtmax=0.05)
X = [u[1] for u in sol.u]
Y = [u[2] for u in sol.u]
T = [t for t in sol.t]

plt = plot(
  dpi=300,
  legend=false)

plot!(
  plt,
  X,
```

```
  Y,
  label="Зависимость численности хищников от численности жертв",
  color=:blue)

savefig(plt, "julia1-1.png")

plt2 = plot(
  dpi=300,
  legend=true)

plot!(
  plt2,
  T,
  X,
  label="Численность жертв",
  color=:green)

plot!(
  plt2,
  T,
  Y,
  label="Численность хищников",
  color=:red)

savefig(plt2, "julia1-2.png")
```

Код программы для стационарного состояния:

```
using Plots
using DifferentialEquations

a = 0.18
b = 0.38
c = 0.047
d = 0.035

x0 = c / d
y0 = a / b

function ode_fn(du, u, p, t)
    x, y = u
    du[1] = -a*u[1] + c * u[1] * u[2]
    du[2] = b * u[2] - d * u[1] * u[2]
end

v0 = [x0, y0]
tspan = (0.0, 60.0)
prob = ODEProblem(ode_fn, v0, tspan)
```

```
sol = solve(prob, dtmax=0.05)
X = [u[1] for u in sol.u]
Y = [u[2] for u in sol.u]
T = [t for t in sol.t]

plt2 = plot(
  dpi=300,
  legend=true)

plot!(
  plt2,
  T,
  X,
  label="Численность жертв",
  color=:green)

plot!(
  plt2,
  T,
  Y,
  label="Численность хищников",
  color=:red)

savefig(plt2, "julia2.png")
```

В стационарном состоянии решение вида $y(x) = some function$ будет представлять собой точку.

Результаты работы кода на Julia

График численности хищников от численности жертв

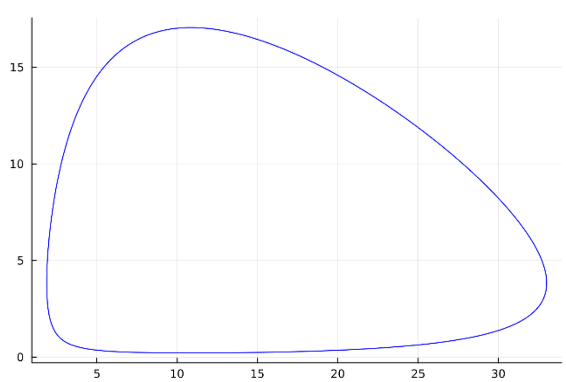
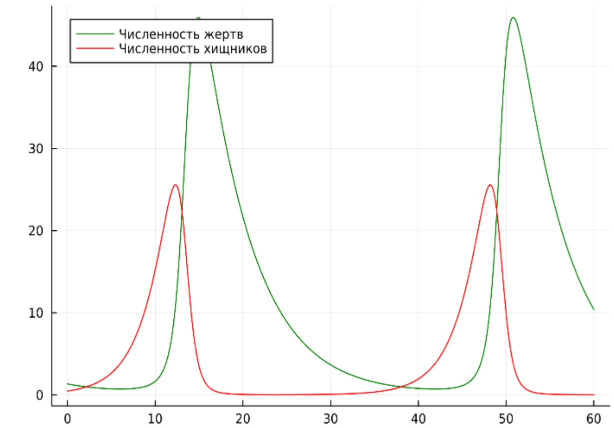
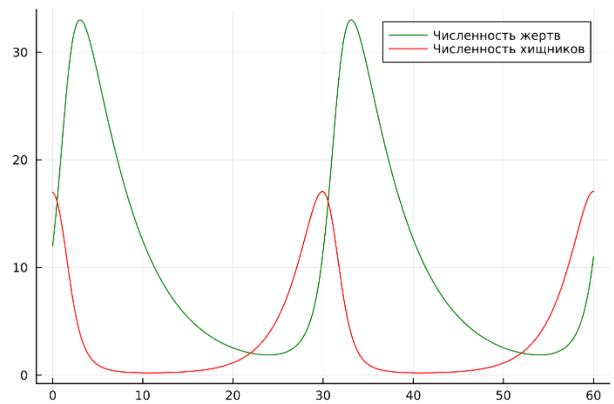


График численности жертв и хищников от времени



Стационарное состояние



OpenModelica

Код программы для нестационарного состояния:

```
model lab51
  Real a = 0.18;
  Real b = 0.38;
  Real c = 0.047;
  Real d = 0.035;
  Real x;
  Real y;

initial equation
  x = 12;
  y = 17;
equation
  der(x) = -a*x + c*x*y;
  der(y) = b*y - d*x*y;
  annotation(
```

```
    experiment(StartTime = 0, StopTime = 60, Tolerance = 1e-06, Interval = 0.05)
);
end lab51;
```

Код программы для стационарного состояния:

```
model lab52
  Real a = 0.18;
  Real b = 0.38;
  Real c = 0.047;
  Real d = 0.035;
  Real x;
  Real y;
initial equation
  x = c/d;
  y = a/b;
equation
  der(x) = -a*x + c*x*y;
  der(y) = b*y - d*x*y;
  annotation(
    experiment(StartTime = 0, StopTime = 60, Tolerance = 1e-06, Interval = 0.05)
);
end lab52;
```

В стационарном состоянии решение вида $y(x) = somefunction$ будет представлять собой точку.

Результаты работы кода на OpenModelica

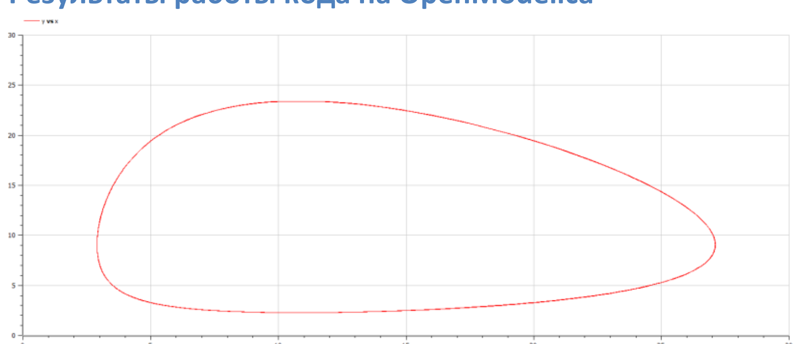


График численности хищников от численности жертв

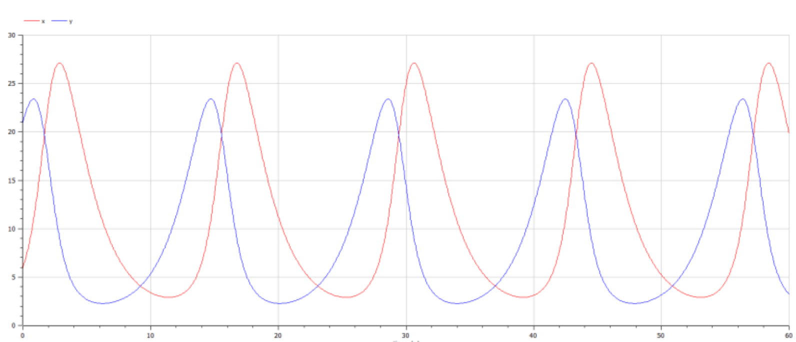
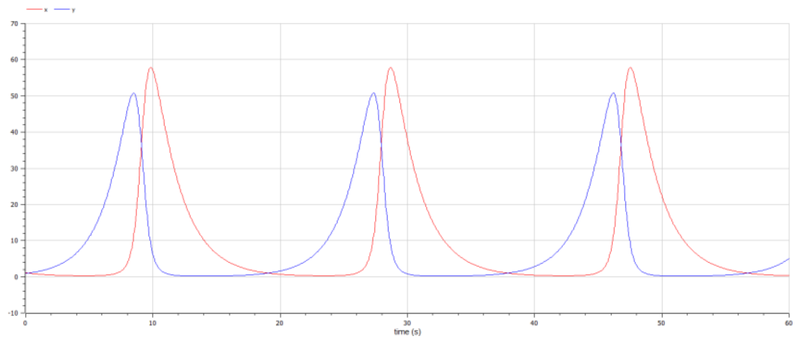


График численности жертв и хищников от времени



Стационарное состояние

Анализ полученных результатов. Сравнение языков.

В итоге проделанной работы мы построили график зависимости численности хищников от численности жертв, а также графики изменения численности хищников и численности жертв на языках Julia и OpenModelica. Построение модели хищник-жертва на языке openModelica занимает меньше строк, чем аналогичное построение на Julia.

Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы была изучена модель хищник-жертва и построена модель на языках Julia и Open Modelica.

Список литературы. Библиография

[1] Документация по Julia: https://docs.julialang.org/en/v1/

[2] Документация по OpenModelica: https://openmodelica.org/

[3] Решение дифференциальных уравнений: https://www.wolframalpha.com/

[4] Модель Лотки—Вольтерры: https://math-it.petrsu.ru/users/semenova/MathECO/Lections/Lotka_Volterra.pdf