

Лабораторная работа № 5

Построение графиков

Шияпова Д.И.

08 ноября 2025

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

- Шияпова Дарина Илдаровна
- Студентка
- Российский университет дружбы народов
- 1132226458@pfur.ru



Цель

Основная цель работы – освоить синтаксис языка Julia для построения графиков.

Выполнение лабораторной работы

```
1 using Pkg
Pkg.add("Plots")
Pkg.add("PyPlot")
Pkg.add("Plotly")
Pkg.add("UnicodePlots")
# подключаем для использования Plots:
using Plots

> Показать скрытые выходные данные

1 # задание функции:
f(x) = (2x.^2 + 6x .- 9).*exp.(-0.3x)
# (generic function with 1 method)

1 # генерирование массива значений x в диапазоне от -5 до 10 с шагом 0,1
# ( шаг задан через указание длины массива):
x = collect(range(-5,10,length=151))

> Показать скрытые выходные данные

1 # генерирование массива значений y:
y = f(x)

> Показать скрытые выходные данные

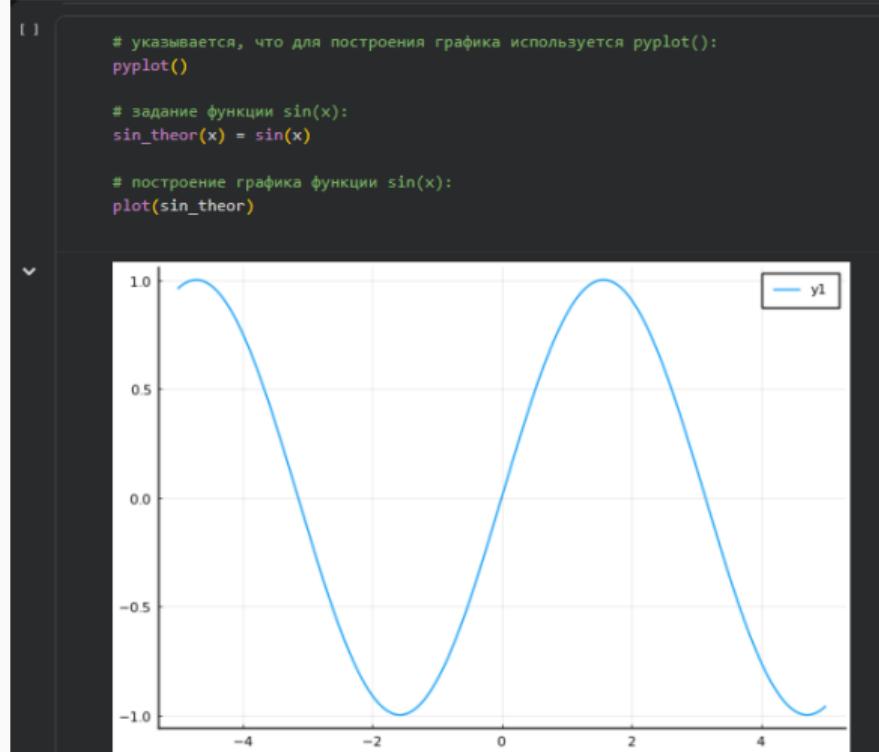
1 # указывается, что для построения графика используется gr():
gr()

Plots.GBBackend()

1 # задание опций при построении графика
# (название кривой, подписи по осям, цвет графика):
plot(x,y,
title="A simple curve",
xlabel="Variable x",
ylabel="Variable y",
color="blue")
```

Выполнение лабораторной работы

Выполнение лабораторной работы



```
[ ] sin_taylor (generic function with 1 method)
```

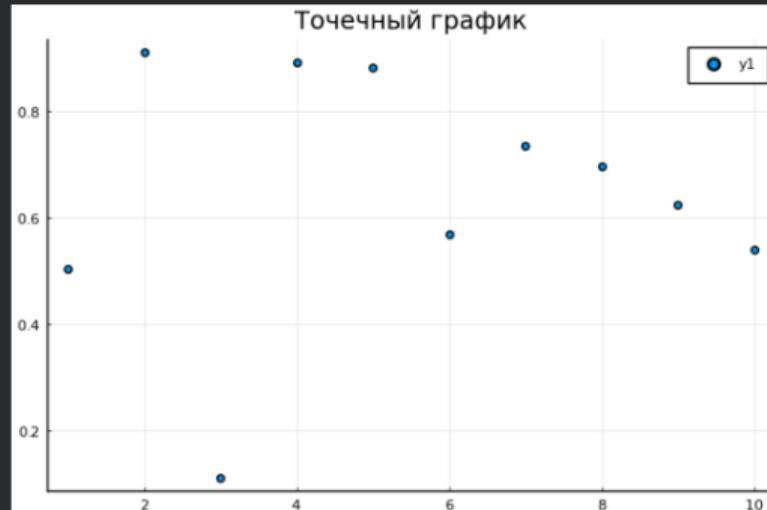
Выполнение лабораторной работы

```
plot(  
    # функция sin(x):  
    sin_taylor,  
    # помарка в легенде, цвет и тип линии:  
    label = "sin(x), разложение в ряд Тейлора",  
    lines(:blue, 0.3, 6, :solid),  
    # размер графика:  
    size(800, 500),  
    # параметры отображения значений по осям  
    xticks = (-5:0.5:5),  
    yticks = (-1.0:0.1:1),  
    xtickFont = font(12, "Times New Roman"),  
    ytickFont = font(12, "Times New Roman"),  
    # помарки по осям:  
    xlabel = "y",  
    ylabel = "x",  
    # название графика:  
    title = "Разложение в ряд Тейлора",  
    # поверот значений, заданный по оси x:  
    xrotation = rad2deg(pi/4),  
    # заливка области графика цветом:  
    fillrange = 0,  
    fillalpha = 0.5,  
    fillColor = :lightgoldenrod,  
    # задание цвета фона:  
    background_color = :ivory  
)  
plot(  
    # функция sin_theor:  
    sin_theor,  
    # помарка в легенде, цвет и тип линии:  
    label = "sin(x), теоретическое значение",  
    line=(:black, 1.0, 2, :dash))
```



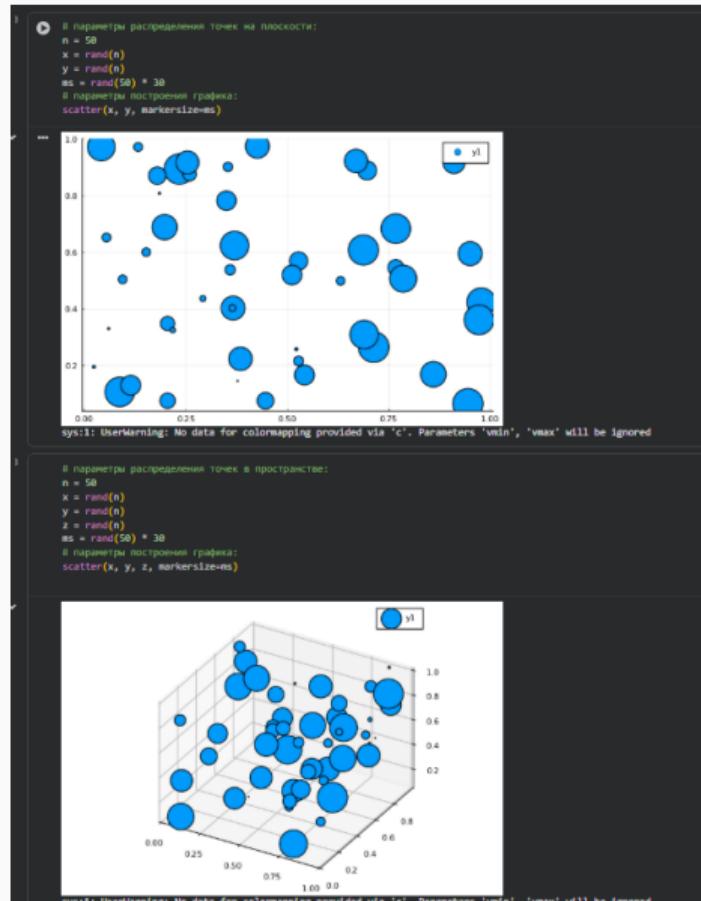
Выполнение лабораторной работы

```
# параметры распределения точек на плоскости:  
x = range(1,10,length=10)  
y = rand(10)  
# параметры построения графика:  
plot(x, y,  
seriesType = :scatter,  
title = "Точечный график"  
)
```

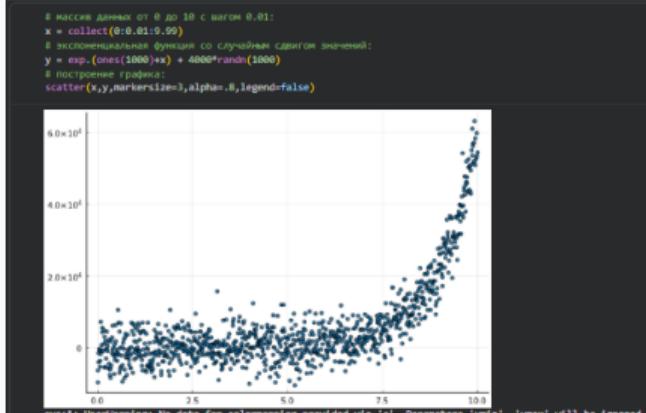


```
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
```

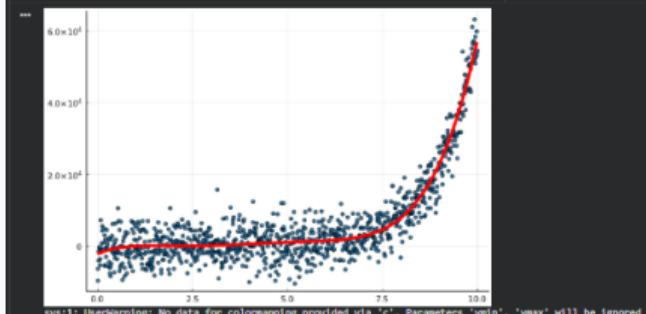
Выполнение лабораторной работы



Выполнение лабораторной работы

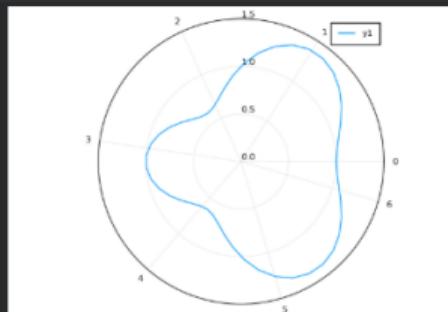


```
## определение массива для нахождения коэффициентов полинома:  
A = [ones(1000) x x.^2 x.^3 x.^4 x.^5]  
## решение матричного уравнения:  
c = A\y  
## построение полинома:  
f1 = c[1]*ones(1000) + c[2]*x + c[3]*x.^2 + c[4]*x.^3 + c[5]*x.^4 + c[6]*x.^5  
## построение графика аппроксимирующей функции:  
plot(x,f1,linewidth=3, color:red)
```

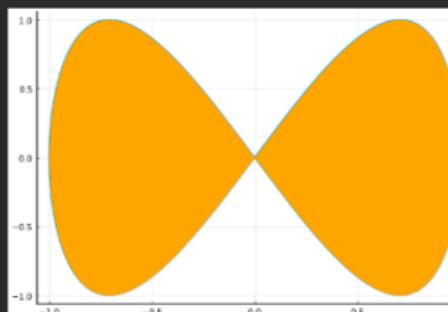


Выполнение лабораторной работы

```
# функция в полярных координатах:  
r(theta) = 1 + cos(theta) * sin(theta)*2  
# полярная система координат:  
theta = range(0, stop=2pi, length=50)  
# график функции, заданной в полярных координатах:  
plot(theta, r(theta),  
proj='polar',  
lims=(0,1.5)  
)
```

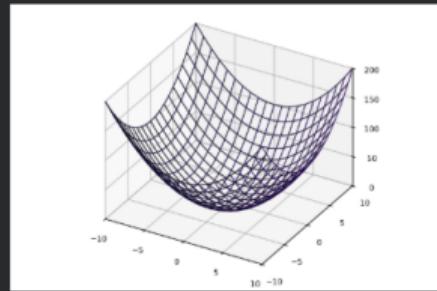


```
# параметрическое уравнение:  
x1(t) = sin(t)  
y1(t) = sin(2t)  
# построение графика:  
plot(x1, y1, theta, 2pi, leg=false, fill=(0,:orange))
```

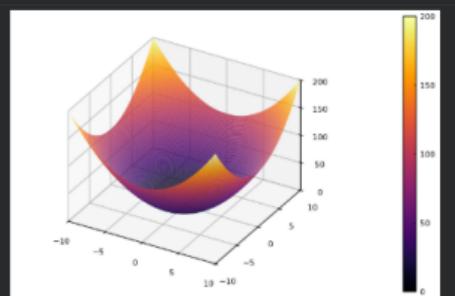


Выполнение лабораторной работы

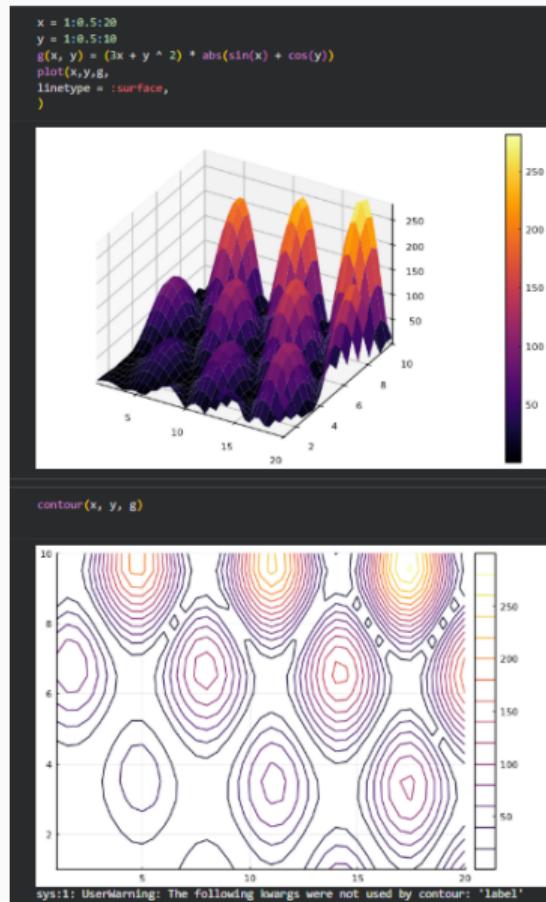
```
# построение графика поверхности:  
f(x,y) = x^2 + y^2  
x = -10:10  
y = x  
surface(x, y, f)  
#Также можно воспользоваться функцией plot() с заданными параметрами (рис. 5.18):  
# построение графика поверхности:  
f(x,y) = x^2 + y^2  
x = -10:10  
y = x  
plot(x, y, f,  
linetype=:wireframe  
)
```



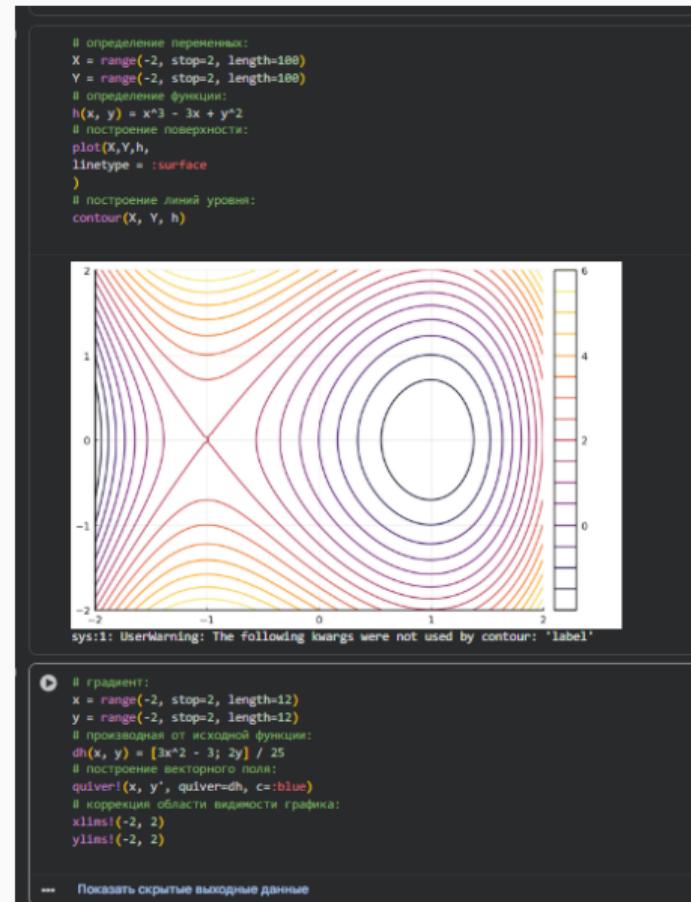
```
f(x,y) = x^2 + y^2  
x = -10:0.1:10  
y = x  
plot(x, y, f,  
linetype = :surface  
)
```



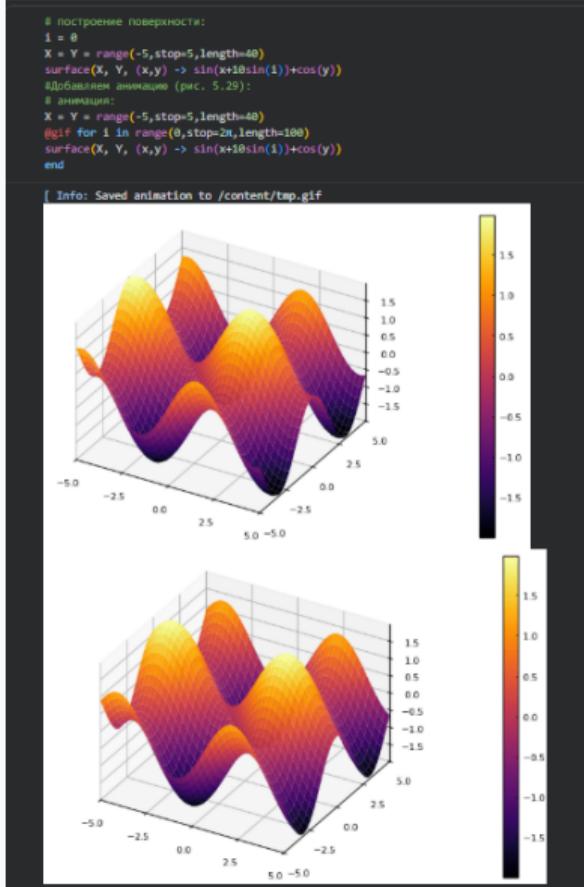
Выполнение лабораторной работы



Выполнение лабораторной работы

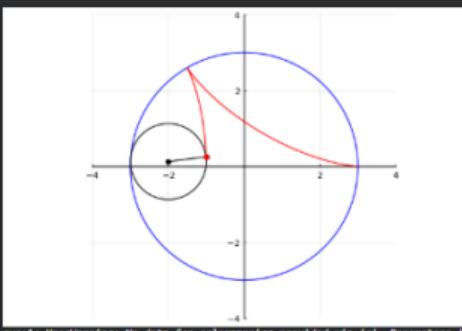


Выполнение лабораторной работы



Выполнение лабораторной работы

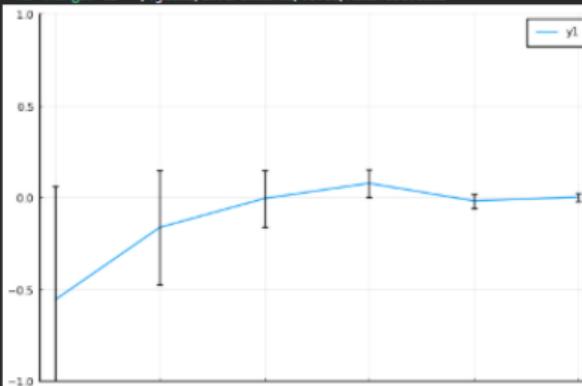
```
    # радиус малой окружности:  
r_ = 1  
# коэффициент для построения большой окружности:  
k = 3  
# число отсчетов:  
n = 100  
# Затем зададим массивы необходимых значений:  
# массив значений угла 0:  
# theta from 0 to 2pi (+ a little extra)  
theta = collect(0:2*pi/100:2*pi+2*pi/100)  
# массивы значений координат:  
X = r_**cos_(theta)  
Y = r_**sin_(theta)  
# Построим оси координат:  
# зададим оси координат:  
plt.plot(5,xlim=(-4,4),ylim=(-4,4), c=:red, aspect_ratio=1, legend=false, framestyle=:origin)  
# большая окружность:  
plot!(plt, X,Y, c=:blue, legend=false)  
  
t = 0:1:n  
x = r_**(k-1)*cos_(t) + r_*cos_((k-1)*t)  
y = r_**(k-1)*sin_(t) - r_*sin_((k-1)*t)  
plot!(x,y, c=:red)  
  
# малая окружность:  
xc = r_**(k-1)*cos_(t[n]) + r_*cos_(theta[n])  
yc = r_**(k-1)*sin_(t[n]) + r_*sin_(theta[n])  
plot!(xc,yc,c=:black)  
  
# радиус малой окружности:  
x1 = transpose([r_*(k-1)*cos_(t[n]) x[n]])  
y1 = transpose([r_*(k-1)*sin_(t[n]) y[n]])  
Plots.plot!(x1,y1,markershape=:circle,markersize=4,c=:black)  
Plots.scatter!([x[n]], [y[n]],c=:red, markerstrokecolor=:red)
```



Выполнение лабораторной работы

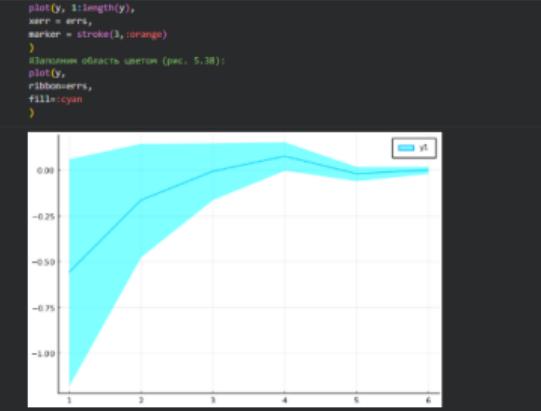
```
## подключение пакета Statistics:  
import Pkg  
Pkg.add("Statistics")  
using Statistics  
## Зададим массив значений:  
sds = [1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32]  
## Затем сгенерируем массив ошибок (отклонений от исходных значений):  
n = 10  
y = [mean(sd*randn(n)) for sd in sds]  
errs = 1.96 * sds / sqrt(n)  
## Построим график исходных значений (рис. 5.35):  
plot(y,  
ylims = (-1,1),  
)  
## Построим график отклонений от исходных значений (рис. 5.36):  
plot(y,  
ylims = (-1,1),  
err = errs  
)
```

```
Resolving package versions...  
No Changes to '~/.julia/environments/v1.11/Project.toml'  
No Changes to '~/.julia/environments/v1.11/Manifest.toml'
```



```
sys:1: UserWarning: You passed a edgecolor/edgecolors ((0.0, 0.0, 0.0, 1.0)) for an unfilled marker ('.'). Matplotlib is ig  
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
```

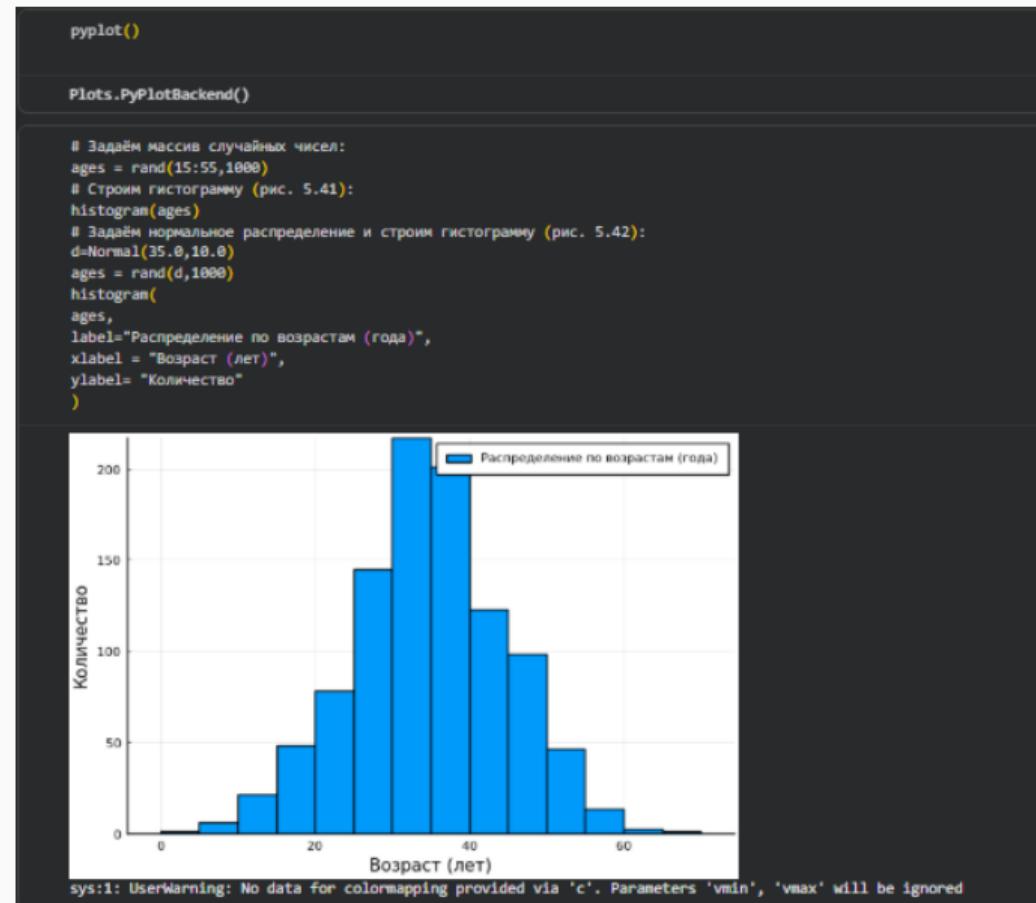
Выполнение лабораторной работы



```
n = 10
x = [(rand() + 1) * random(n) + 21 for i in 1:5]
y = [(rand() + 1) * random(n) + 1 for i in 1:5]
(v) = 1.96*std(v) / sqrt(n)
(xerr = map(f, x))
(yerr = map(f, y))
(x = map(mean, x))
(y = map(mean, y))
plot(x, y,
xerr = xerr,
yerr = yerr,
marker = stroke(2, :orange)
)
```

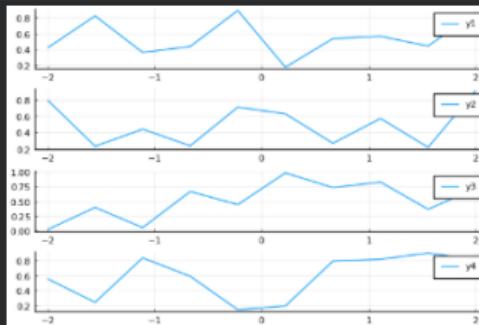


Выполнение лабораторной работы

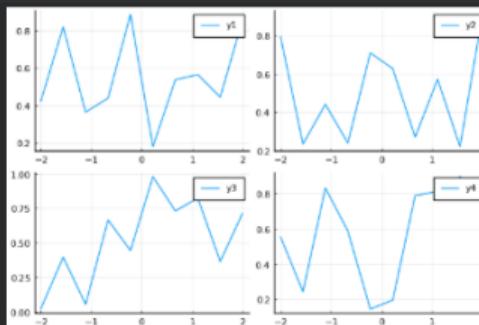


Выполнение лабораторной работы

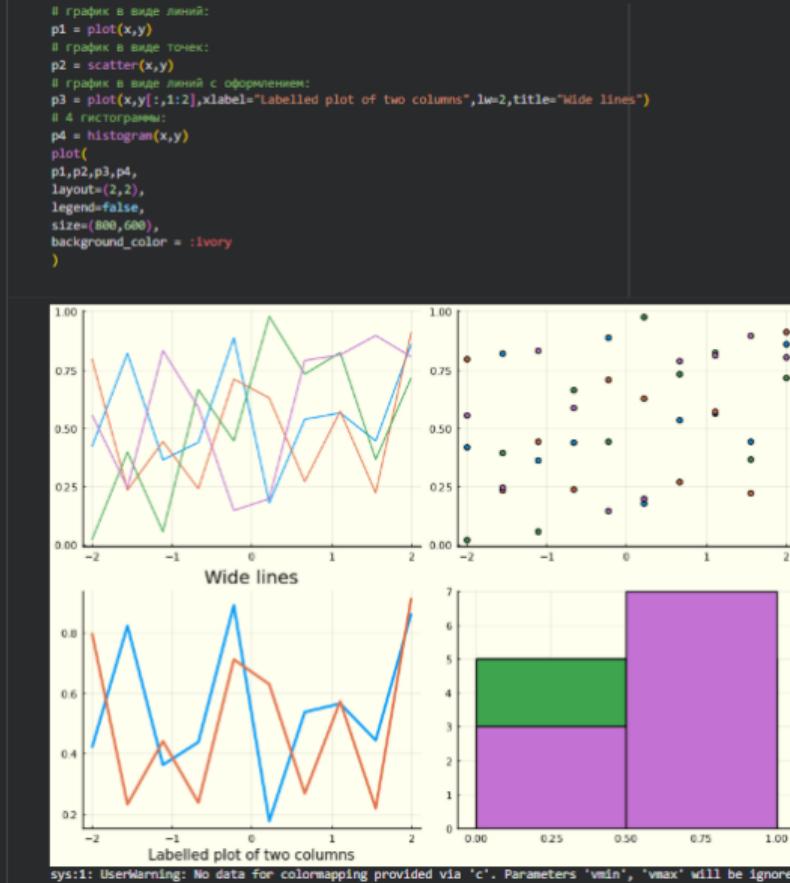
```
# подгружаем pyplot:  
pyplot()  
# построение серии графиков:  
x=range(-2,2,length=10)  
y = rand(10,4)  
plot(x,y,  
layout=4,1  
)
```



```
plot(x,y,  
layout=4  
)
```



Выполнение лабораторной работы



Выполнение лабораторной работы



Рис. 18: Подграфики

Выполнение лабораторной работы

```
# Подключение необходимых пакетов
pyplot()

# Создание функции и диапазона
x = range(0, stop=2π, length=100)
y = sin(x)

# Создание объекта для графиков
p1 = plot(x, y, title="График 1: Обычный график", label="sin(x)", xlabel="x", ylabel="sin(x)", legend:=topright)

p2 = scatter(x, y, title="График 2: Точечный график",
             label="sin(x)", xlabel="x", ylabel="sin(x)")

p3 = histogram(y, title="График 3: Гистограмма значений",
                xlabel="sin(x)", ylabel="Частота")

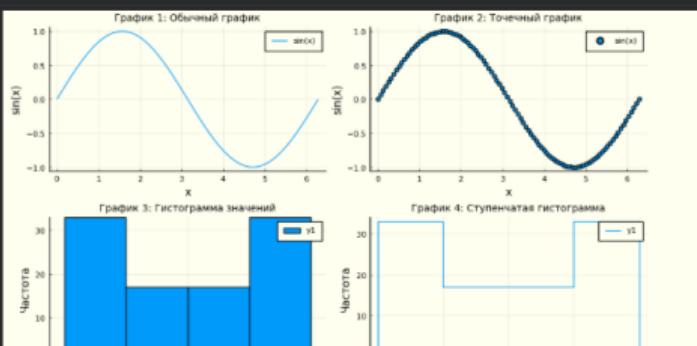
p4 = stephist(y, title="График 4: Ступенчатая гистограмма",
               xlabel="sin(x)", ylabel="Частота")

p5 = bar(x, y, title="График 5: Столбчатая диаграмма",
          xlabel="x", ylabel="sin(x)")

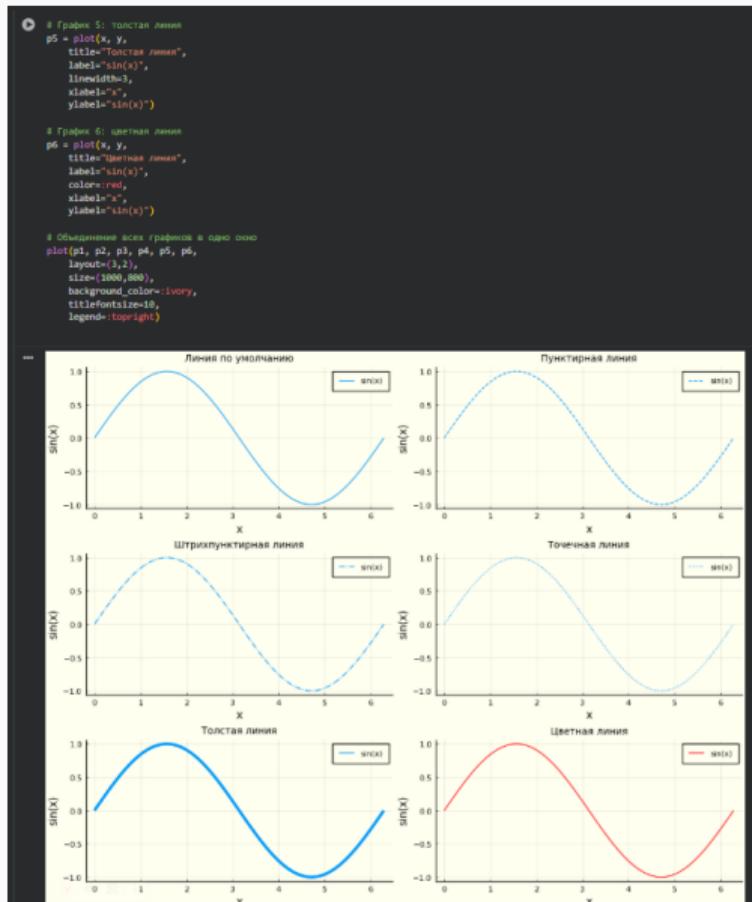
# Создание двумерного сетки для контурного графика
X = Y = range(0, stop=2π, length=100)
# Формирование матрицы координат
xx = repeat(X, 1, length(Y))
yy = repeat(Y', 1, length(X), 1)
# Создание двумерной функции
Z = sin(xx) .* sin(yy)

p6 = contour(xx, yy, Z, title="График 6: Контурный график",
              xlabel="x", ylabel="y", color=:viridis,
              levels=20, colorbar=true)

# Объединение всех графиков в одно окно
plot(p1, p2, p3, p4, p5, p6, layout=(3,2), size=(1000,800),
      background_color=:ivory, titlefontsize=10)
```



Выполнение лабораторной работы



Выполнение лабораторной работы

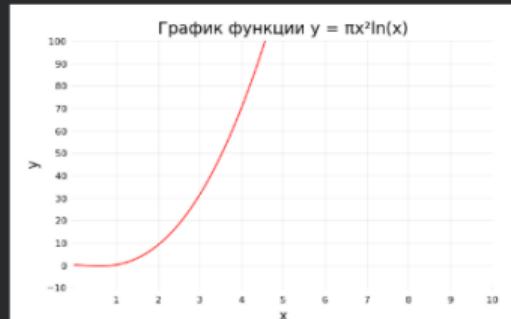
```
# 3
pyplot()

# Определение функции
f(x) = π * x^2 * log(x)

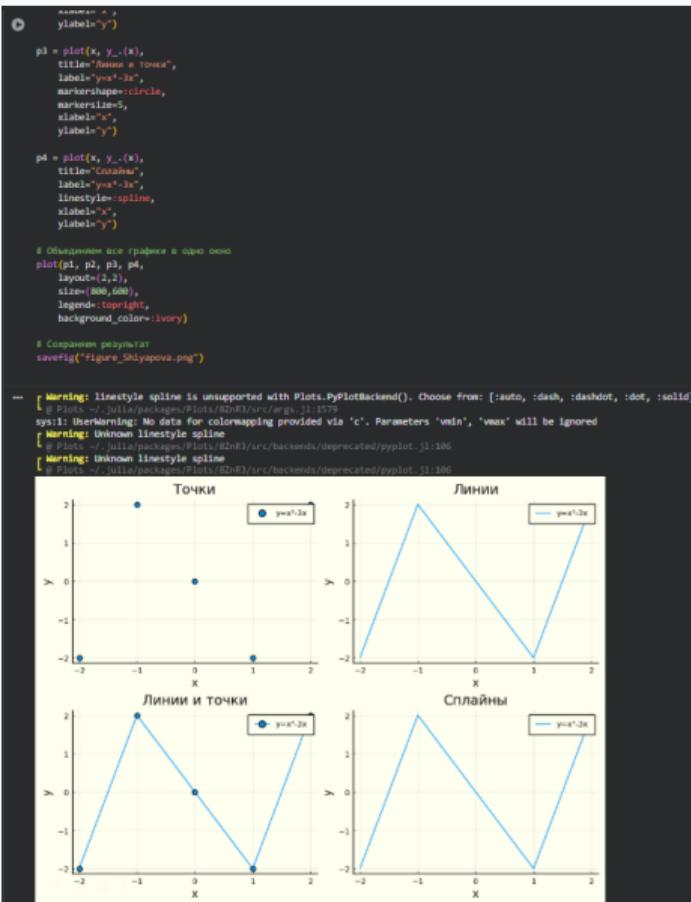
# Задание диапазона значений x
x = range(1e-3, stop=10, length=1000) # начинаем с малого положительного числа вместо 0

# Построение графика
plot(x, f(x),
      title="График функции y = πx^2ln(x)",
      xlabel="x",
      ylabel="y",
      color="red",
      frameStyle:box, # включение рамки
      frameStyle:grid,
      border_width=2,
      border_color="green",
      tick_direction="out",
      xtick=1:10, # установка шага по оси x
      ytick=range(-10, stop=100, step=10), # установка шага по оси y
      fontFamily="Times New Roman",
      tickFontSize=10,
      guideFontSize=12, # размер шрифта подписей осей
      titleFontSize=14,
      margin=5plots.mm, # отступы для надписей
      legend=false
    )

# Дополнительные настройки для лучшей читаемости
xlimits!(0, 10)
ylimits!(-10, 100)
```



Выполнение лабораторной работы



Выполнение лабораторной работы

```
# Создан вектор x с шагом 0.1
x = 3:0.1:6

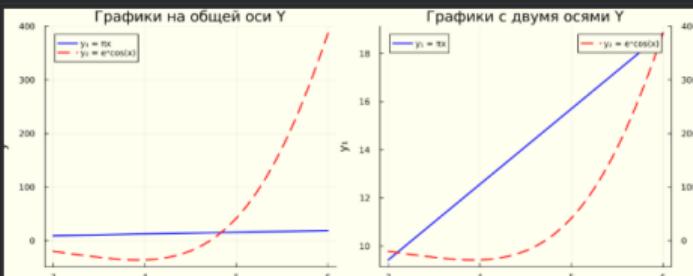
# Первый способ: общий график
p1 = plot(x, func1(x),
           label="y1 = mx",
           linestyle:solid,
           color:blue,
           linewidth:2,
           grid=true,
           legend:topleft)

plot(x, func1(x),
      label="y2 = excos(x)",
      linestyle:dash,
      color:red,
      linewidth:2,
      title="График на общей оси Y",
      xlabel="x",
      ylabel="y")

# Второй способ: две оси Y
p2 = plot(x, func1(x),
           label="y1 = mx",
           linestyle:solid,
           color:blue,
           linewidth:2,
           title="Графики с двумя осями Y",
           xlabel="x",
           ylabel="y",
           grid:true)

plot(twinx(), x, func2(x),
      label="y2 = excos(x)",
      linestyle:dash,
      color:red,
      linewidth:2,
      ylabel="y",
      legend:topright)

# Объединение графиков в одно окно
plot(p1, p2, layout=[1,2], size=[1000,400], background_color=:ivory)
```



Выполнение лабораторной работы

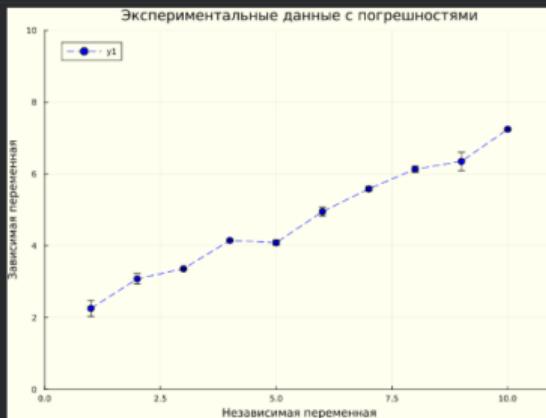
```
#-W
using Plots
using Statistics
g() =
# Генерация экспериментальных данных
# Создаем массив значений x
x = 1:10

# Создаем массив средних значений y
y_mean = 2.0 .+ 0.5 .* x .+ 0.2 .* rand(length(x))

# Создаем массив стандартных отклонений
σ = 0.3 .* rand(length(x)) # случайная погрешность

# Построение графика с погрешностями
plot(x, y_mean,
    yerr = σ, # указание погрешностей
    marker = :circle, # тип маркера
    markersize = 5, # размер маркера
    linestyle = :dash, # тип линии
    color = :blue, # цвет графика
    title = "Экспериментальные данные с погрешностями",
    xlabel = "Независимая переменная",
    ylabel = "Зависимая переменная",
    legend = :topleft,
    grid = true,
    size = (800, 600),
    background_color = :ivory)

# Дополнительные настройки
xlim!(0, 11) # установка границ по оси X
ylim!(0, 10) # установка границ по оси Y
```



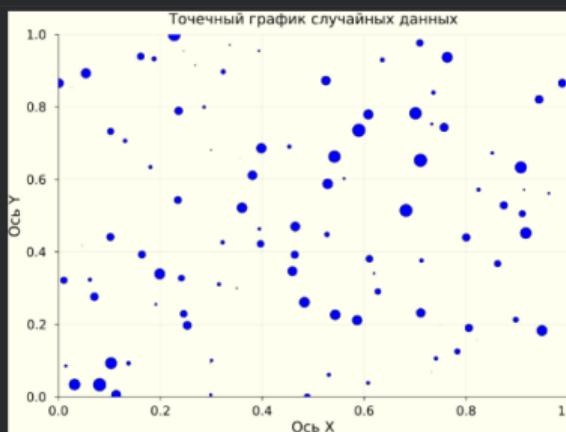
Выполнение лабораторной работы

```
#?
using Plots
using Statistics
gr() # или другой бэкенд

# Генерация случайных данных
n = 100 # количество точек
x = rand(n) # случайные значения по оси X
y = rand(n) # случайные значения по оси Y
z = rand(n) # случайные значения размера маркера

# Построение точечного графика
scatter(x, y,
    markersize = z * 10, # размер маркера зависит от z
    markercolor = :blue, # цвет маркера
    markerstrokewidth = 0.5, # толщина обводки
    markerstrokecolor = :black, # цвет обводки
    title = "Точечный график случайных данных",
    xlabel = "Ось X",
    ylabel = "Ось Y",
    legend = false, # отключение легенды
    grid = true, # включение сетки
    size = (800, 600), # размер графика
    background_color = :ivory, # цвет фона
    tick_direction = :out, # направление меток наружу
    tickfont = font(12), # размер шрифта меток
    guidefont = font(14) # размер шрифта подписей осей
)

# Дополнительные настройки
xlim!(0, 1) # установка границ по X
ylim!(0, 1) # установка границ по Y
```



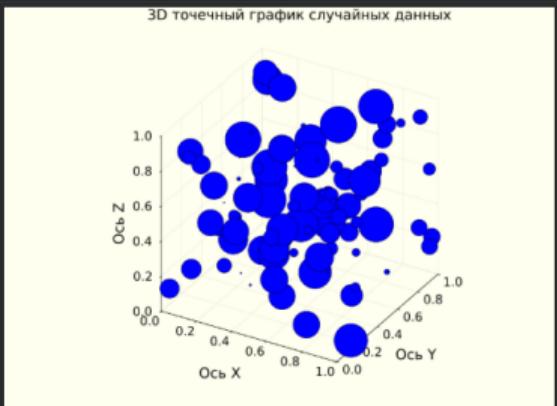
Выполнение лабораторной работы

```
# Импортируем необходимые библиотеки
using Plots
using Statistics
gr() # или другой бэкенд

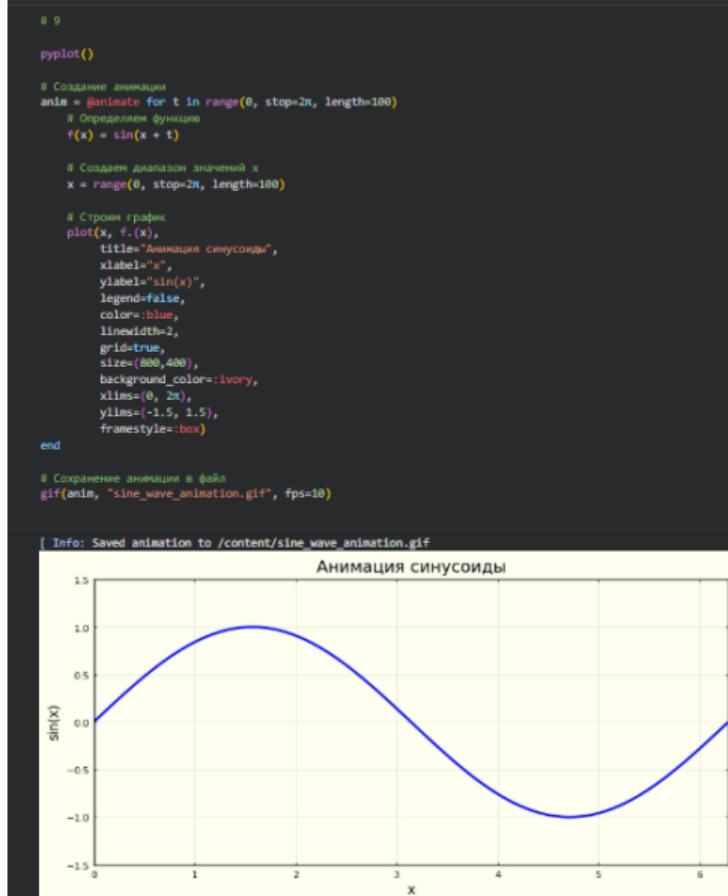
# Генерация случайных данных
n = 100 # количество точек
x = rand(n) # случайные значения по оси X
y = rand(n) # случайные значения по оси Y
z = rand(n) # случайные значения по оси Z
s = rand(n) * 30 # размер маркеров

# Создание 3D точечного графика
scatter3d(x, y, z,
    markerSize = s, # размер маркеров
    markerColor = :blue, # цвет маркеров
    markerStrokeWidth = 0.5, # толщина обводки
    markerStrokeColor = :black, # цвет обводки
    title = "3D точечный график случайных данных",
    xlabel = "Ось X",
    ylabel = "Ось Y",
    zlabel = "Ось Z",
    legend = false, # отключение легенды
    grid = true, # включение сетки
    size = (800, 600), # размер графика
    background_color = :ivory, # цвет фона
    tickDirection = :out, # направление меток наружу
    tickFont = font(12), # размер шрифта меток
    guideFont = font(14) # размер шрифта подписей осей
)

# Дополнительные настройки
xlims!(0, 1) # установка границ по X
ylims!(0, 1) # установка границ по Y
zlims!(0, 1) # установка границ по Z
```



Выполнение лабораторной работы



Выполнение лабораторной работы

```
# ГЕНЕРАЦИЯ координат для точки, движущейся в единичном кольце
x0 = r_m * (k - 1) * cos(t[0])
y0 = r_m * (k - 1) * sin(t[0])
x = x0 + r_m * cos(t)
y = y0 + r_m * sin(t)

# Создаем основной график
plt = Plots.plot();
    xlim=(-6, 6),
    ylim=(-6, 6),
    colors:red,
    colors_ratio:1,
    aspect_ratio:1,
    legend:false,
    framestyle:origin
)

# Добавляем большую окружность (синий цвет)
Plots.plot!(plt, X, Y, color=blue, legend=false)

# Добавляем гипоциклоиду (красный цвет)
Plots.plot!(x, y, color:red)

# Добавляем малую окружность (чёрный цвет)
Plots.plot!(x, y, color:black)

# Отображаем траекторию движения точки (чёрные кружки)
x1 = [r_m * (k - 1) * cos(t[i]) x[i]]
y1 = [r_m * (k - 1) * sin(t[i]) y[i]]
Plots.plot!(x1, y1, markershape=:circle, markersize=4, color:black)

# Выделен последним точка траектории (красный кружок)
Plots.scatter!([(x[i]), (y[i])], color:red, markerstrokecolor:red)

end

# Сохранение анимации в файл GIF с частотой 20 кадров в секунду
gif(anim, "hypocycloid.gif", fps=20)
```

... sys::UserWarning: No data for colormap provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::UserWarning: No data for colormap provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::UserWarning: No data for colormap provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::UserWarning: No data for colormap provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::UserWarning: No data for colormap provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::UserWarning: No data for colormap provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::UserWarning: No data for colormap provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::UserWarning: No data for colormap provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::UserWarning: No data for colormap provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
[Info: Saved animation to /context/hypocycloid.gif

Выполнение лабораторной работы

```
# Координаты для малой окружности (движущейся)
x0 = r_0 * (k - 1) * cos(t[0]) + r_- * cos(theta)
y0 = r_0 * (k - 1) * sin(t[0]) + r_- * sin(theta)

# Создадим основной график
plt = Plots.plot();
    xlim=(-10, 10),
    ylim=(-10, 10),
    color=:red,
    aspect_ratio=1,
    legend=false,
    framestyle=:origin
)
# Добавляем большую окружность (синий цвет)
Plots.plot!(plt, X, Y, color=:blue, legend=false)

# Добавляем гипоциклоиду (красный цвет)
Plots.plot!(x, y, color=:red)

# Добавляем малую окружность (чёрный цвет)
Plots.plot!(x0, y0, color=:black)

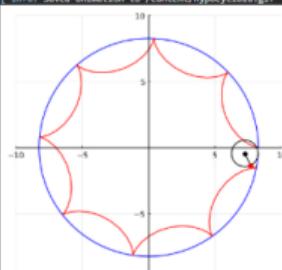
# Отобразим траектории движения точки (чёрные кружки)
x1 = transpose([r_0 * (k - 1) * cos(t[0]) x0])
y1 = transpose([r_0 * (k - 1) * sin(t[0]) y0])
Plots.plot!(x1, y1, markershape=:circle, markersized=4, color=:black)

# Выделим последнюю точку траектории (красный кружок)
Plots.scatter!([(x[0]), (y[0])], color=:red, markerstrokecolor=:red)

end

# Сохраним анимацию в файл GIF
gif(anim, "hypocycloid.gif", fps=20)
```

sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
[Info: Saved animation to /content/hypocycloid.gif



Выполнение лабораторной работы

```
# Большая окружность
X = r_+ * k .* cos.(t)
Y = r_+ * k .* sin.(t)

# Эпциклоида
x = r_- * (k + 1) .* cos.(t) + r_+ .* cos.((k + 1) .* t)
y = r_- * (k + 1) .* sin.(t) + r_+ .* sin.((k + 1) .* t)

# Малая окружность
xc = r_- * (k + 1) .* cos(t[end]) - r_+ .* cos(0)
yc = r_- * (k + 1) .* sin(t[end]) - r_+ .* sin(0)

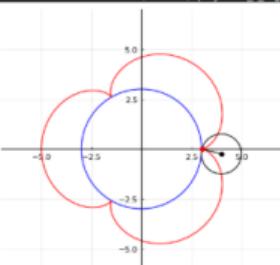
# Построение графиков
plt = Plots.plot(
    xlim(-7, 7),
    ylim(-7, 7),
    color=:red,
    aspect_ratio=1,
    legend=false,
    framestyle=:origin
)
Plots.plot!(plt, X, Y, color=:blue) # Большая окружность
Plots.plot!(plt, x, y, color=:red) # Эпциклоида
Plots.plot!(plt, xc, yc, color=:black) # Малая окружность

x1 = transpose([r_- * (k + 1) .* cos(t[end]) x[end]])
y1 = transpose([r_- * (k + 1) .* sin(t[end]) y[end]])

Plots.plot!(x1, y1, markershape=:circle, markersize=4, color=:black)
Plots.scatter!([(x1[1]), (y1[1])], [color=:red, markerstrokecolor=:red])
end

# Сохранение анимации
glif(anime, "epicycloid_k_5k.gif", fps=20)
```

sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys:1: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
[Info: Saved animation to /content/epicycloid_k_5.gif



Выполнение лабораторной работы

```
# Координаты для малой окружности (движущейся)
x_ = r_- * (k + 1) * cos(t[end]) - r_- * cos(theta)
y_ = r_- * (k + 1) * sin(t[end]) - r_- * sin(theta)

# Созданы основной график
plt = Plots.plot(
    xlim=(-10, 10),
    ylim=(-10, 10),
    color='red',
    aspect_ratio=1,
    legend=False,
    framestyle='origin'
)

# Добавляем большую окружность (синий цвет)
Plots.plot!(plt, X, Y, color=:blue, legend=false) # Большая окружность

# Добавляем эллипсоподобную (красный цвет)
Plots.plot!(x, y, color=:red) # Эллипсоподобная

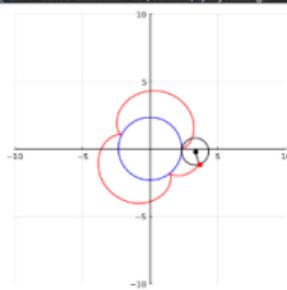
# Добавляем малую окружность (чёрный цвет)
Plots.plot!(x_, y_, color=:black) # Малая окружность

# Отображаем траекторию движения точки (чёрные кружки)
x_l = transpose([r_ + (k + 1) * cos(t[1:end]) x_l[1:end]])
y_l = transpose([r_ + (k + 1) * sin(t[1:end]) y_l[1:end]])
Plots.plot!(x_l, y_l, markershape=:circle, markersize=4, color=:black)

# Выделяем последнюю точку траектории (красный кружок)
Plots.scatter!([x_l[end]], [y_l[end]], color=:red, markerstrokecolor=:red)
end

# Сохраняем анимацию в файл GIF
gif(anim, "epicycloid.gif", fps=20)
```

```
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
sys::: UserWarning: No data for colormapping provided via 'c'. Parameters 'vmin', 'vmax' will be ignored
Info: Saved animation to /content/epicycloid.gif
```



Выводы

В результате выполнения данной лабораторной работы я освоила синтаксис языка Julia для построения графиков.