Шаблон отчёта по лабораторной работе

Простейший вариант

Дмитрий Сергеевич Кулябов

Содержание

Список иллюстраций

Список таблиц

1 Цель работы

Здесь приводится формулировка цели лабораторной работы. Формулировки цели для каждой лабораторной работы приведены в методических указаниях.

Цель данного шаблона — максимально упростить подготовку отчётов по лабораторным работам. Модифицируя данный шаблон, студенты смогут без труда подготовить отчёт по лабораторным работам, а также познакомиться с основными возможностями разметки Markdown.

2 Задание

Здесь приводится описание задания в соответствии с рекомендациями методического пособия и выданным вариантом.

3 Теоретическое введение

Здесь описываются теоретические аспекты, связанные с выполнением работы. Например, в табл. 3.1 приведено краткое описание стандартных каталогов Unix.

Таблица 3.1: Описание некоторых каталогов файловой системы GNU Linux

Имя каталога	Описание каталога
`/`	Корневая директория, содержащая всю файловую
`/bin`	Основные системные утилиты, необходимые как в однопользовательском режиме, так и при обычной работе всем пользователям
`/etc`	Общесистемные конфигурационные файлы и файлы конфигурации установленных программ
`/home`	Содержит домашние директории пользователей, которые, в свою очередь, содержат персональные настройки и данные пользователя
`/media`	Точки монтирования для сменных носителей
`/root`	Домашняя директория пользователя `root`
`/tmp`	Временные файлы
`/usr`	Вторичная иерархия для данных пользователя

Более подробно про Unix см. в [1—4].

4 Выполнение лабораторной работы

Описываются проведённые действия, в качестве иллюстрации даётся ссылка на иллюстрацию (рис. 4.1).

Рисунок 4.1: V Сольвеевский конгресс (1927) «Электроны и фотоны»

5 Скомпилированный отчёт

6 Экспоненциальный рост

Цель: Исследовать решение уравнения $du/dt = \alpha u$.

6.1 Инициализация проекта и загрузка пакетов

```
using DrWatson
@quickactivate "../project"

using Plots
gr(fmt = :png)
default(fmt = :png)

using DifferentialEquations
using DataFrames
using JLD2

script_name = splitext(basename(PROGRAM_FILE))[1]
mkpath(plotsdir(script_name))
mkpath(datadir(script_name))
```

```
┌ Warning: DrWatson could not find find a project file by recursively cl
│  (given dir: C:\Users\12232)
└ @ DrWatson C:\Users\12232\.julia\packages\DrWatson\2QF5p\src\proje
```

```
"C:\\Users\\12232\\Documents\\GitHub\\2026-1--study--
mathmod\\labs\\lab01\\project\\data\\"
```

6.2 Определение модели

Уравнение экспоненциального роста: $\frac{du}{dt} = \alpha u, \quad u(0) = u_0$

```
function exponential_growth!(du, u, p, t)
    □ = p
    du[1] = □ * u[1]
end
```

```
exponential_growth! (generic function with 1 method)
```

6.3 Первый запуск с параметрами по умолчанию

Зададим начальные параметры:

```
u0 = [1.0]            # □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□
□ = 0.3              # □□□□□□□□ □□□□□
tspan = (0.0, 10.0) # □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□

prob = ODEProblem(exponential_growth!, u0, tspan, □)
sol = solve(prob, Tsit5(), saveat=0.1)
```

```
retcode: Success
Interpolation: 1st order linear
t: 101-element Vector{Float64}:
  0.0
  0.1
```

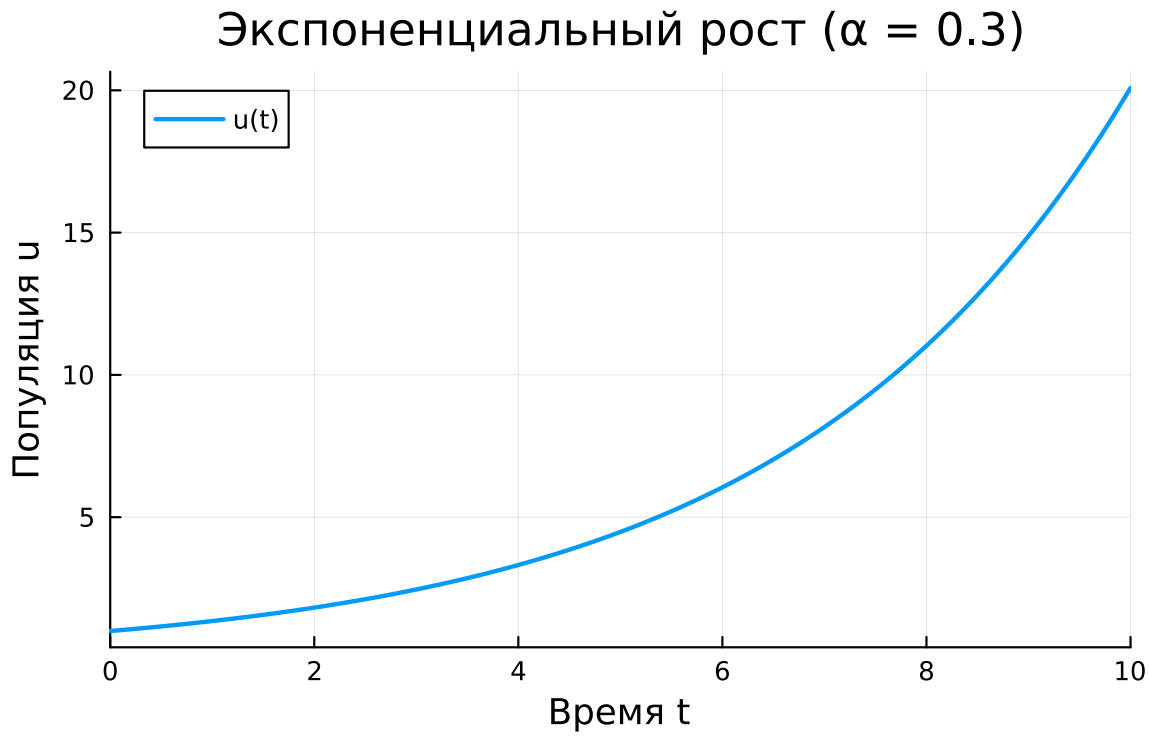
```
 0.2
 0.3
 0.4
 0.5
 0.6
 0.7
 0.8
 0.9
 1.0
 1.1
 1.2
 ⋮
 8.9
 9.0
 9.1
 9.2
 9.3
 9.4
 9.5
 9.6
 9.7
 9.8
 9.9
10.0
u: 101-element Vector{Vector{Float64}}:
 [1.0]
 [1.030454533950446]
 [1.0618365551529674]
 [1.0941743028794098]
```

```
[1.1274968605386673]
[1.1618342327450653]
[1.1972173476990624]
[1.233678057187257]
[1.2712491879500347]
[1.3099646073864084]
[1.3498590188273822]
[1.390968273354968]
[1.4333293964993763]
□
[14.439892233074872]
[14.87962750503581]
[15.33275596650523]
[15.79968870415309]
[16.280848966976613]
[16.776672166300525]
[17.287605875776965]
[17.814109831385352]
[18.35665593143248]
[18.91572823655283]
[19.491822969707854]
[20.08544851618676]
```

6.4 Визуализация результатов

Построим график решения:

```
plot(sol, label="u(t)", xlabel="□□□□□ t", ylabel="□□□□□□□□□ u",
     title="□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□ (□ = $□)", lw=2, legend=:topleft)
```



Сохраним график в папку plots

```
savefig(plotsdir(script_name, "exponential_growth_□=$□.png"))
```

```
"C:\\Users\\12232\\Documents\\GitHub\\2026-1--study--
mathmod\\labs\\lab01\\project\\plots\\exponential_growth_□=0.3.png"
```

6.5 Анализ результатов

Создадим таблицу с данными:

```
df = DataFrame(t=sol.t, u=first.(sol.u))
println("□□□□□□ 5 □□□□□ □□□□□□□□□□□:")
println(first(df, 5))
```

□□□□□□ 5 □□□□□ □□□□□□□□□□□:

```
5×2 DataFrame
 Row □ t         u
     □ Float64   Float64
─────┼──────────────────────
   1 □       0.0   1.0
   2 □       0.1   1.03045
   3 □       0.2   1.06184
   4 □       0.3   1.09417
   5 □       0.4   1.1275
```

Вычислим удвоение популяции:

```
u_final = last(sol.u)[1]
doubling_time = log(2) / □
println("\n□□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□: ", round(doubling_time; digits=2
```

```
□□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□: 2.31
```

6.6 Сохранение всех результатов

```
@save datadir(script_name, "all_results.jld2") df
```

7 Отчёт 2 - 02_exponential_growth

8 Параметрическое исследование экспоненциального роста

8.1 Активация проекта и загрузка пакетов

ИЗМЕНЕНИЕ: Добавлен DrWatson для управления проектом и параметрами

```
using DrWatson
@quickactivate "../project"  # □□□□□□□□□ □□□□□□□ DrWatson

using Plots
default(fmt = :png)
gr(fmt = :png)

using DifferentialEquations
using DataFrames
using JLD2
using BenchmarkTools
```

```
┌ Warning: DrWatson could not find find a project file by recursively cl
□ (given dir: C:\Users\12232)
└ @ DrWatson C:\Users\12232\.julia\packages\DrWatson\2QF5p\src\proje
```

Установка каталогов

```
script_name = splitext(basename(PROGRAM_FILE))[1]
mkpath(plotsdir(script_name))
mkpath(datadir(script_name))
```

```
"C:\\Users\\12232\\Documents\\GitHub\\2026-1--study--
mathmod\\labs\\lab01\\project\\data\\"
```

8.2 Определение модели

Модель: $du/dt = \alpha \cdot u$

```
function exponential_growth!(du, u, p, t)
    □ = p.□  # **□□□□□□□□□:** □□□□□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□□□□ □□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□
    du[1] = □ * u[1]
end
```

```
exponential_growth! (generic function with 1 method)
```

8.3 Определение параметров в Dict

ОСНОВНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ: Все параметры собраны в Dict для систематизации

Базовый набор параметров (один эксперимент)

```
base_params = Dict(
    :u0 => [1.0],              # □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□
    :□ => 0.3,                 # □□□□□□□□□ □□□□□□
    :tspan => (0.0, 10.0),     # □□□□□□□□□ □□□□□□□□
    :solver => Tsit5(),        # □□□□□□ □□□□□□□□
    :saveat => 0.1,            # □□□□ □□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□
    :experiment_name => "base_experiment"
```

```
)

println("□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□:")
for (key, value) in base_params
    println("  $key = $value")
end
```

□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□:

```
  □ = 0.3
  u0 = [1.0]
  saveat = 0.1
 solver = Tsit5{typeof(OrdinaryDiffEqCore.trivial_limiter!), typeof(
  experiment_name = base_experiment
  tspan = (0.0, 10.0)
```

8.4 Функция-обертка для запуска одного эксперимента

ИСПРАВЛЕНИЕ: Возвращаем Dict со строковыми ключами

```
function run_single_experiment(params::Dict)
    @unpack u0, □, tspan, solver, saveat = params
    prob = ODEProblem(exponential_growth!, u0, tspan, (□=□,)) # □□□□□
    sol = solve(prob, solver; saveat=saveat)
    final_population = last(sol.u)[1] # □□□□□□ □□□□□□□□□□□□
    doubling_time = log(2) / □
    return Dict(
        "solution" => sol,
        "time_points" => sol.t,
```

```
        "population_values" => first.(sol.u),
        "final_population" => final_population,
        "doubling_time" => doubling_time,
        "parameters" => params  # □□□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□
    ) # □□□□□□□□□□ □□□□□□ □□□ □□□□□ □□□ □□□□□□□□□□□□ □ DrWatson
end
```

```
run_single_experiment (generic function with 1 method)
```

8.5 Запуск базового эксперимента

ИЗМЕНЕНИЕ: Используем produce_or_load для автоматического кэширования

```
data, path = produce_or_load(
    datadir(script_name, "single"),      # □□□□□ □□□ □□□□□□□□□□
    base_params,              # □□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□
    run_single_experiment,    # □□□□□□□ □□□ □□□□□□□□□□
    prefix = "exp_growth",    # □□□□□□□ □□□□□ □□□□□
    tag = false,              # □□ □□□□□□□□□ git-□□□
    verbose = true
)

println("\n□□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□□:")
println("  □□□□□□□□ □□□□□□□□: ", data["final_population"])
println("  □□□□□ □□□□□□□: ", round(data["doubling_time"]; digits=2))
println("  □□□□ □□□□□□□□□□: ", path)
```

□□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□□:

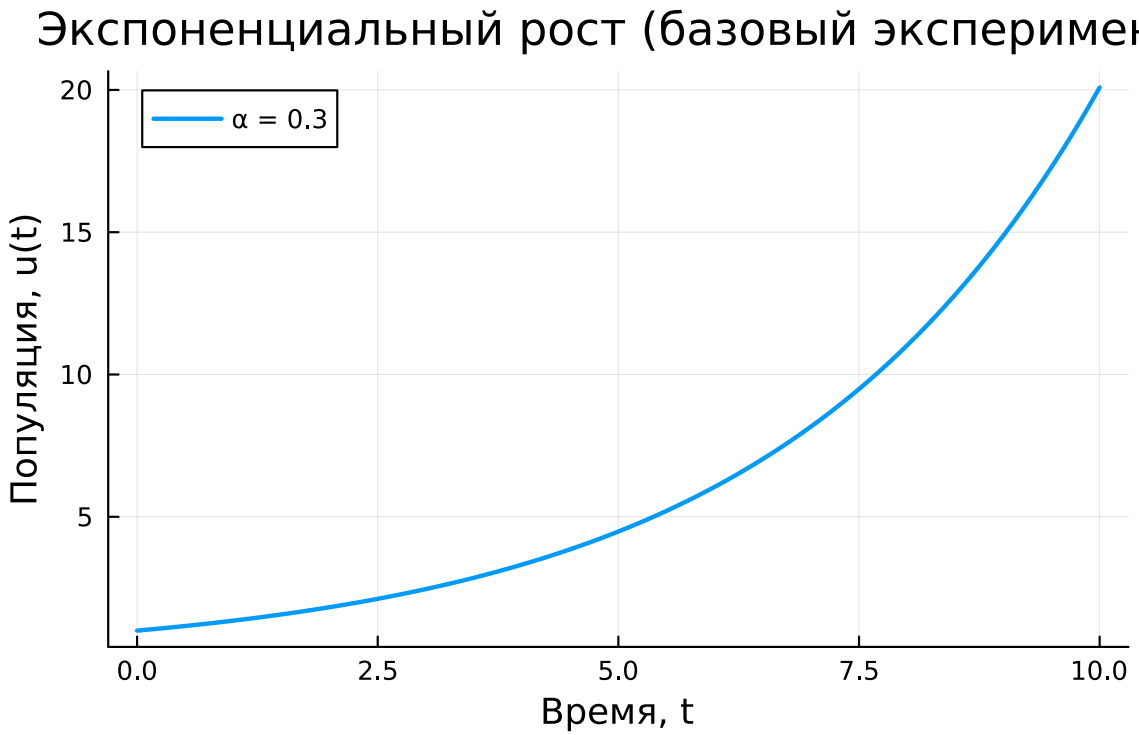
□□□□□□□□□ □□□□□□□□□: 20.08544851618676

□□□□□ □□□□□□□□: 2.31

□□□□ □□□□□□□□□□□: C:\Users\12232\Documents\GitHub\2026-1--study--mathmod\labs\lab01\project\data\single\exp_growth_experiment

8.6 Визуализация базового эксперимента

```
p1 = plot(data["time_points"], data["population_values"],
    label="□ = $(base_params[:□])",
    xlabel="□□□□□, t",
    ylabel="□□□□□□□□□, u(t)",
    title="□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□ (□□□□□□□ □□□□□□□□□□□)",
    lw=2,
    legend=:topleft,
    grid=true
)
```



Сохраним график в папку plots

```
savefig(plotsdir(script_name, "single_experiment.png"))
```

```
"C:\\Users\\12232\\Documents\\GitHub\\2026-1--study--
mathmod\\labs\\lab01\\project\\plots\\single_experiment.png"
```

8.7 Параметрическое сканирование

НОВАЯ СЕКЦИЯ: Исследование влияния параметра α

Сетка параметров для сканирования

```
param_grid = Dict(
    :u0 => [[1.0]],              # □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□□□□
    :□ => [0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0],   # □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□
    :tspan => [(0.0, 10.0)],   # □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□□□□
```

```
    :solver => [Tsit5()],      # □□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□
    :saveat => [0.1],          # □□□□□□□□□ □□□ □□□□□□□□□□
    :experiment_name => ["parametric_scan"]
)
```

```
Dict{Symbol, Vector} with 6 entries:
  :□               => [0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0]
  :u0              => [[1.0]]
  :saveat          => [0.1]
  :solver       => [Tsit5{typeof(trivial_limiter!), typeof(trivial_li
  :experiment_name => ["parametric_scan"]
  :tspan           => [(0.0, 10.0)]
```

Генерация всех комбинаций параметров

```
all_params = dict_list(param_grid)

println("\n" * "="^60)
println("□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□")
println("□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□: ", length(all_params))
println("□□□□□□□□□□ □□□□□□□□ □: ", param_grid[:□])
println("="^60)
```

```
============================================================
□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□
□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□: 5
□□□□□□□□□□ □□□□□□□□ □: [0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0]
============================================================
```

8.8 Запуск всех экспериментов и собор результатов

НОВАЯ СЕКЦИЯ: Автоматический запуск и сохранение всех вариантов

```
all_results = []
all_dfs = []

for (i, params) in enumerate(all_params)
    println("□□□□□□□□: $i/$(length(all_params)) | □ = $(params[:□])")

    data, path = produce_or_load(
        datadir(script_name, "parametric_scan"),  # □□□□□□
        params,                          # □□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□□□
        run_single_experiment,           # □□□□□□□ □□□ □□□□□□□□□□
        prefix = "scan",                 # □□□□□□□ □□□□□ □□□□□
        tag = false,
        verbose = false                  # □□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□ □□□□□□□
    ) # □□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□/□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□□□

    result_summary = merge(
        params,
        Dict(
            :final_population => data["final_population"],
            :doubling_time => data["doubling_time"],
            :filepath => path  # □□□□ □ □□□□□□□□□□ □□□□□□
        )
    ) # □□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□ (□□□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□ □□□□□□□□□□, □□ □□□□□

    push!(all_results, result_summary)
```

```
    df = DataFrame(
        t = data["time_points"],
        u = data["population_values"],
        □ = fill(params[:□], length(data["time_points"]))
    ) # □□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□ □□□ □□□□□□□□□□□□□
    push!(all_dfs, df)
end
```

```
□□□□□□□□□: 1/5 | □ = 0.1
□□□□□□□□□: 2/5 | □ = 0.3
□□□□□□□□□: 3/5 | □ = 0.5
□□□□□□□□□: 4/5 | □ = 0.8
□□□□□□□□□: 5/5 | □ = 1.0
```

8.9 Анализ и визуализация результатов сканирования

НОВАЯ СЕКЦИЯ: Сравнительный анализ всех экспериментов

Сводная таблица результатов

```
results_df = DataFrame(all_results)
println("\n□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□□:")
println(results_df[!, [:□, :final_population, :doubling_time]])
```

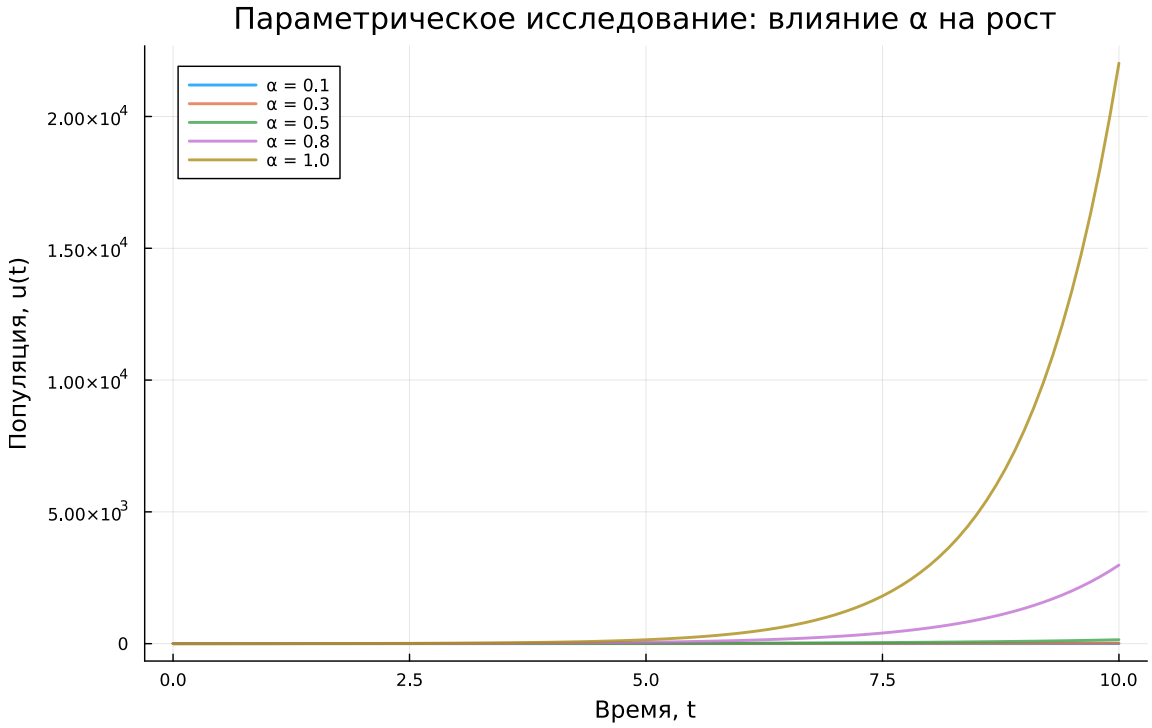
```
□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□□:
5×3 DataFrame
 Row □ □        final_population  doubling_time
```

```
     □ Float64  Float64           Float64
─────┼──────────────────────────────────────
   1 □      0.1           2.71828       6.93147
   2 □      0.3          20.0854        2.31049
   3 □      0.5         148.409         1.38629
   4 □      0.8        2980.57          0.866434
   5 □      1.0       22021.0           0.693147
```

Сравнительный график всех траекторий

```
p2 = plot(size=(800, 500), dpi=150)

for params in all_params

    data, _ = produce_or_load(
        datadir(script_name, "parametric_scan"),
        params,
        run_single_experiment,
        prefix = "scan"
    ) # □□□□□□□□□ □□□□□□ (□□□ □□□ □□□□ □□ □□□□□)

    plot!(p2, data["time_points"], data["population_values"],
        label="□ = $(params[:□])",
        lw=2,
        alpha=0.8
    )
end

plot!(p2,
    xlabel="□□□□, t",
```

```
    ylabel="□□□□□□□□□, u(t)",
    title="□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□: □□□□□□□□ □ □□ □□□□",
    legend=:topleft,
    grid=true
)
```



Сохраним график в папку plots

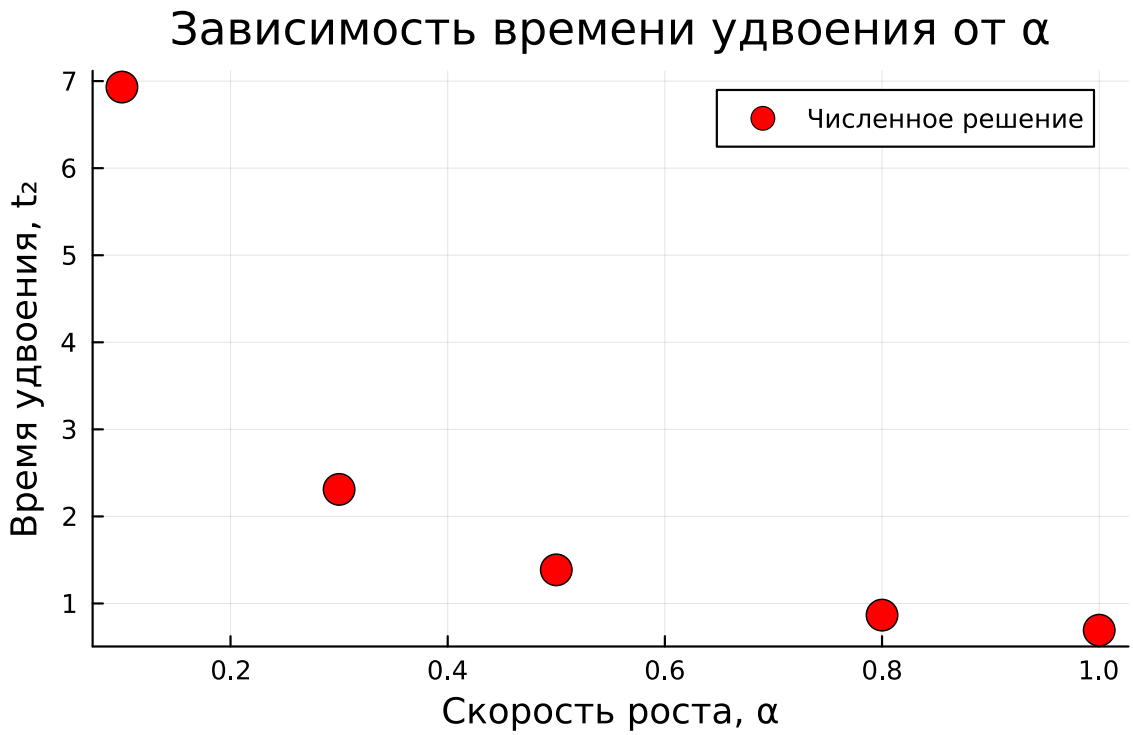
```
savefig(plotsdir(script_name, "parametric_scan_comparison.png"))
```

```
"C:\\Users\\12232\\Documents\\GitHub\\2026-1--study--
mathmod\\labs\\lab01\\project\\plots\\parametric_scan_comparison.png
```

График зависимости времени удвоения от α

```
p3 = plot(results_df.□, results_df.doubling_time,
    seriestype=:scatter,
```

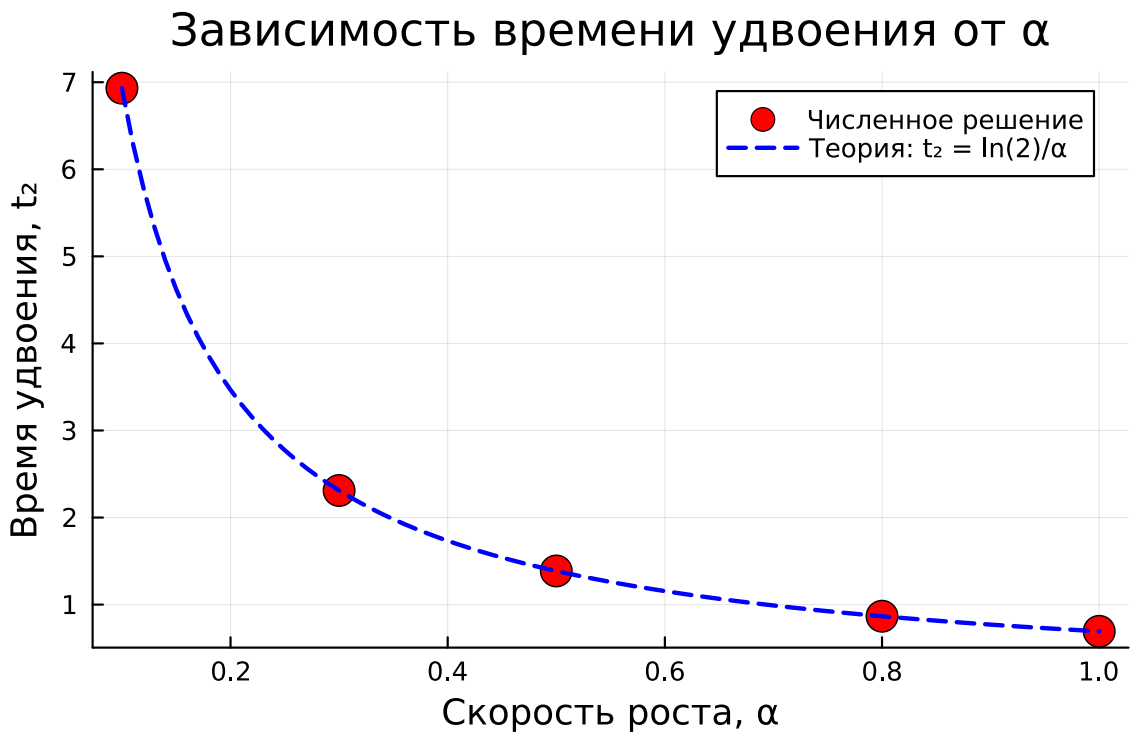
```
    label="□□□□□□□□□ □□□□□□□",
    xlabel="□□□□□□□□ □□□□□, □",
    ylabel="□□□□□ □□□□□□□□, t₂",
    title="□□□□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□ □□ □",
    markersize=8,
    markercolor=:red,
    legend=:topright
)
```



Теоретическая кривая: $t_2 = \ln(2)/\alpha$

```
□_range = 0.1:0.01:1.0

plot!(p3, □_range, log(2) ./ □_range,
    label="□□□□□□: t₂ = ln(2)/□",
    lw=2,
```

```
    linestyle=:dash,
    linecolor=:blue
)
```



Сохраним график в папку plots

```
savefig(plotsdir(script_name, "doubling_time_vs_alpha.png"))
```

```
"C:\\Users\\12232\\Documents\\GitHub\\2026-1--study--
mathmod\\labs\\lab01\\project\\plots\\doubling_time_vs_alpha.png"
```

8.10 Бенчмаркинг с разными параметрами

ИЗМЕНЕНИЕ: Бенчмаркинг для разных значений α

```
println("\n" * "="^60)
println("□□□□□□□□□□□□ □□□ □□□□□□ □□□□□□□□ □")
println("="^60)

benchmark_results = []
for □_value in param_grid[:□]

    bench_params = Dict(
        :u0 => [1.0],
        :□ => □_value,
        :tspan => (0.0, 10.0),
        :solver => Tsit5(),
        :saveat => 0.1
    ) # □□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□ □□□□□□□□□

    function benchmark_run() # □□□□□□□ □□□ □□□□□□□□□
        prob = ODEProblem(exponential_growth!,
                          bench_params[:u0],
                          bench_params[:tspan],
                          (□=bench_params[:□],))
        return solve(prob, bench_params[:solver];
                     saveat=bench_params[:saveat])
    end

    println("\n□□□□□□□□ □□□ □ = $□_value:")
    b = @benchmark $benchmark_run() samples=100 evals=1 # □□□□□□ □□□□
    push!(benchmark_results, (□=□_value, time=median(b).time/1e9))
```

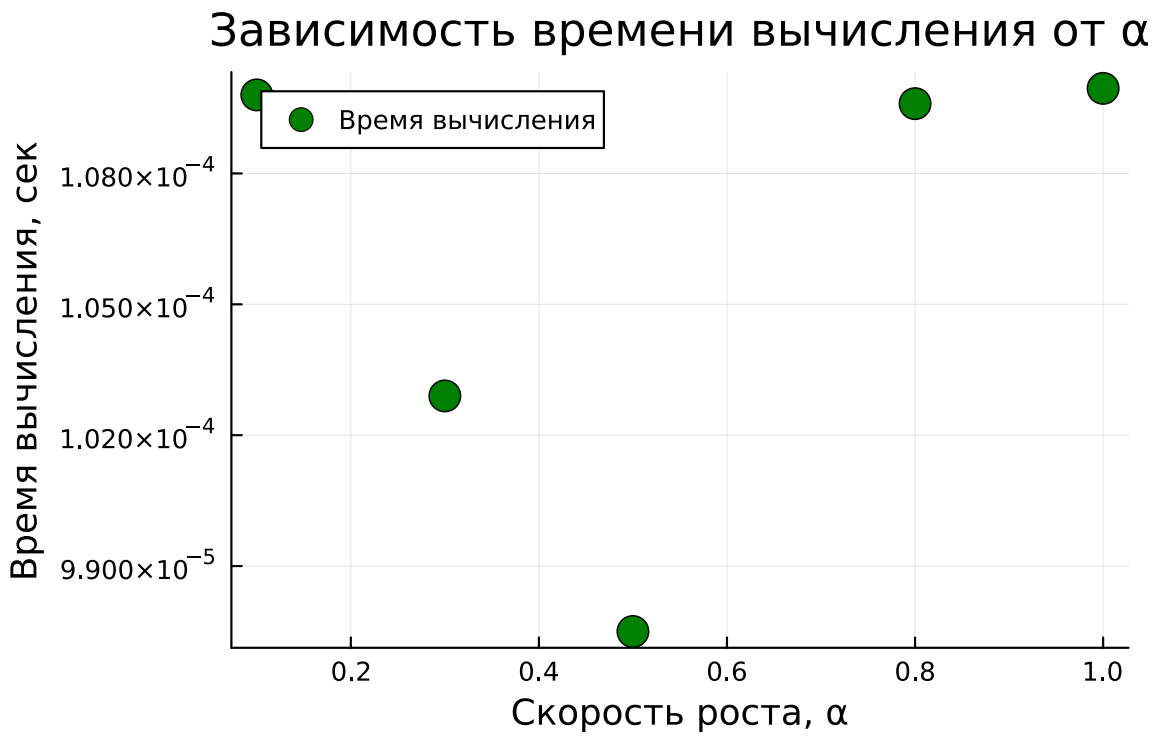
```
    println("  □□□□□□□□ □□□□□□: ", round(median(b).time/1e9; digits=4),
end
```

```
============================================================
□□□□□□□□□□□□ □□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□ □
============================================================

□□□□□□□□□ □□□□ □ = 0.1:
  □□□□□□□□ □□□□□□: 0.0001 □□□□

□□□□□□□□□ □□□□ □ = 0.3:
  □□□□□□□□ □□□□□□: 0.0001 □□□□

□□□□□□□□□ □□□□ □ = 0.5:
  □□□□□□□□ □□□□□□: 0.0001 □□□□

□□□□□□□□□ □□□□ □ = 0.8:
  □□□□□□□□ □□□□□□: 0.0001 □□□□

□□□□□□□□□ □□□□ □ = 1.0:
  □□□□□□□□ □□□□□□: 0.0001 □□□□
```

График зависимости времени вычисления от α

```
bench_df = DataFrame(benchmark_results)
p4 = plot(bench_df.□, bench_df.time,
    seriestype=:scatter,
    label="□□□□□□ □□□□□□□□□□□□",
    xlabel="□□□□□□□□□ □□□□□□, □",
```

```
    ylabel="□□□□□ □□□□□□□□□□, □□□",
    title="□□□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□ □",
    markersize=8,
    markercolor=:green,
    legend=:topleft
)
```



Сохраним график в папку plots

```
savefig(plotsdir(script_name, "computation_time_vs_alpha.png"))
```

```
"C:\\Users\\12232\\Documents\\GitHub\\2026-1--study--
mathmod\\labs\\lab01\\project\\plots\\computation_time_vs_alpha.png
```

8.11 Сохранение всех результатов

НОВАЯ СЕКЦИЯ: Сохранение сводных данных для последующего анализа

```
@save datadir(script_name, "all_results.jld2") base_params param_gr

@save datadir(script_name, "all_plots.jld2") p1 p2 p3 p4

println("\n" * "="^60)
println("□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□□")
println("="^60)
println("\n□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□ □:")
println("  • data/$(script_name)/single/              - □□□□□□□ □□□□□□
println("  • data/$(script_name)/parametric_scan/     - □□□□□□□□□□□□□□□
println("  • data/$(script_name)/all_results.jld2     - □□□□□□□ □□□□□□
println("  • plots/$(script_name)/                    - □□□ □□□□□□□")
println("  • data/$(script_name)/all_plots.jld2      - □□□□□□□ □□□□□□□□
println("\n□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□:")
println("  using JLD2, DataFrames")
println("  @load \"data/$(script_name)/all_results.jld2\"")
println("  println(results_df)")
```

```
============================================================
□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□□
============================================================

□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□ □:
  • data//single/              - □□□□□□□ □□□□□□□□□□
  • data//parametric_scan/     - □□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□
  • data//all_results.jld2     - □□□□□□□ □□□□□□
  • plots//                    - □□□ □□□□□□□
  • data//all_plots.jld2      - □□□□□□□ □□□□□□□□
```

```
[illegible]:
  using JLD2, DataFrames
  @load "data//all_results.jld2"
  println(results_df)
```

9 Выводы

Здесь кратко описываются итоги проделанной работы.

Список литературы

1. *Newham C.* Learning the bash Shell: Unix Shell Programming. — O'Reilly Media, 2005. — 354 p. — (In a Nutshell). — ISBN 0596009658. — URL: http://www.amazon.com/Learning-bash-Shell-Programming-Nutshell/dp/0596009658.
2. *Robbins A.* Bash Pocket Reference. — O'Reilly Media, 2016. — 156 p. — ISBN 978-1491941591.
3. *Zarrelli G.* Mastering Bash. — Packt Publishing, 2017. — 502 p. — ISBN 9781784396879.
4. *Таненбаум Э., Бос Х.* Современные операционные системы.. — 4-е изд. — СПб. : Питер, 2015.. — 1120 с. — (Классика Computer Science).