Отчёт по лабораторной работе

Лабораторная работа №1

Швецов Михаил Романович

Содержание

1 Цель работы **5**

2 Задание **6**

3 Теоретическое введение **7**

4 Выполнение лабораторной работы **8**

5 Параметрическое исследование экспоненциального роста **20**

5.1 Активация проекта и загрузка пакетов 20
5.2 Определение модели 21
5.3 Определение параметров в Dict 21
5.4 Функция-обертка для запуска одного эксперимента 22
5.5 Запуск базового эксперимента 23
5.6 Визуализация базового эксперимента 23
5.7 Параметрическое сканирование 25
5.8 Запуск всех экспериментов и собор результатов 26
5.9 Анализ и визуализация результатов сканирования 27
5.10 Бенчмаркинг с разными параметрами 32
5.11 Сохранение всех результатов 35

6 Выводы **37**

Список литературы **38**

Список иллюстраций

4.1 Установка git flow . . . 8
4.2 Посмотреть доступные цели make: . . . 8
4.3 Посмотреть доступные курсы в make: . . . 9
4.4 Инициализация курса: . . . 9
4.5 Отправка файлов на сервер + инициализация git flow: . . . 10
4.6 Создание релиза, журнала изменений, релиз в основную ветку и отправка на github: . . . 11
4.7 CHANGELOG.md в каталог release: . . . 11
4.8 Релиз: . . . 11
4.9 Переход в каталог лабораторной и выполнение кода: . . . 12
4.10 Прееход в каталог: . . . 12
4.11 Добавление пакетов: . . . 13
4.12 Проверка: . . . 13
4.13 Реализация модели: . . . 14
4.14 Просмотр графика: . . . 14
4.15 Замена и просмотр: . . . 15
4.16 Создание файла: . . . 15
4.17 Выполнение программы: . . . 16
4.18 Выполнение: . . . 16
4.19 Результат: получаем файл . . . 17
4.20 Результат: . . . 17
4.21 Результат: . . . 18
4.22 Результат: . . . 18
4.23 Результат: . . . 19
4.24 Результат: . . . 19

Список таблиц

3.1 Описание некоторых каталогов файловой системы GNU Linux 7

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

Ранее мы установили все необходимые пакеты и сервисы для лабораторной работы.

Установка git flow (рис. 4.1).

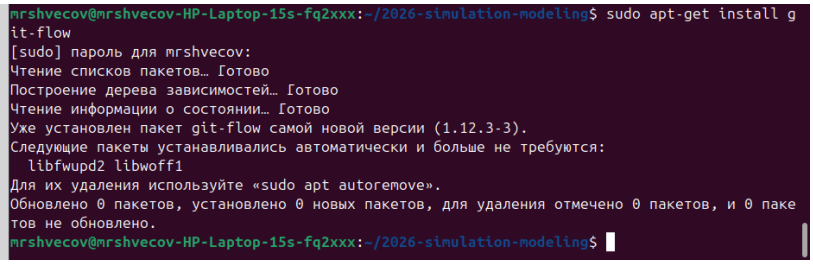


Рисунок 4.1: Установка git flow

Далее мы мотрим доступные цели make (рис. 4.2).

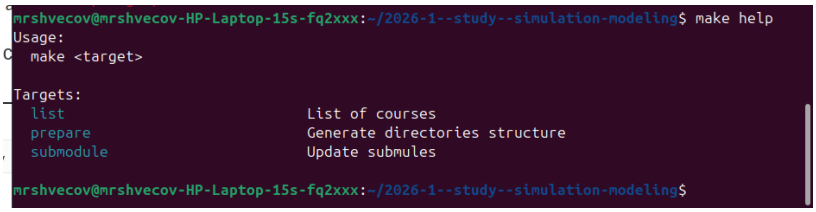


Рисунок 4.2: Посмотреть доступные цели make:

Далее мы мотрим доступные курсы (рис. 4.3).

```
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ make list
practical-scientific-writing  Computer Skills for Scientific Writing
                     net-admin  Администрирование локальных сетей
                 net-os-admin  Администрирование сетевых подсистем
                      arch-pc  Архитектура ЭВМ
                 sciprog-intro  Введение в научное программирование
                   netcybersec  Защита сетей и кибербезопасность
          simulation-modeling  Имитационное моделирование
                      infosec  Информационная безопасность
            computer-practice  Компьютерный практикум по статистическому анализу данных
                      mathsec  Математические основы защиты информации и информационной безо
пасности
                      mathmod  Математическое моделирование
            security-modeling  Методы математического моделирования в кибербезопасности
          simulation-networks  Моделирование сетей передачи данных
                      sciprog  Научное программирование
                     os-intro  Операционные системы
                          os2  Основы администрирования операционных систем
                 infosec-intro  Основы информационной безопасности
                      nettech  Сетевые технологии
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$
```

Рисунок 4.3: Посмотреть доступные курсы в make:

Далее мы переходим в курс и инициализируем курс, отправляем файлы на сервер (рис. 4.4).

```
simulation-modeling: Нет такого файла или каталога
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ echo simulat
ion-modeling > COURSE
make prepare
Synchronizing submodule url for 'template/report'
Synchronizing submodule url for 'template/presentation'
Synchronizing submodule url for 'template/presentation'
Synchronizing submodule url for 'template/report'
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ git add .
git commit -am 'feat(main): make course structure'
git push
[master 16e4c05] feat(main): make course structure
 174 files changed, 6704 insertions(+), 259 deletions(-)
 delete mode 100644 CHANGELOG.md
 create mode 100644 labs/README.md
 create mode 100644 labs/README.ru.md
 create mode 100644 labs/lab01/presentation/.gitignore
 create mode 100644 labs/lab01/presentation/.marksman.toml
 create mode 100644 labs/lab01/presentation/.projectile
 create mode 100644 labs/lab01/presentation/Makefile
 create mode 100644 labs/lab01/presentation/_quarto.yml
```

Рисунок 4.4: Инициализация курса:

Далее мы инициализируем git flow проверяем, что мы на ветке develop и загружаем весь репозиторий в хранилище (рис. 4.5).

```
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ git flow ini
t
Already initialized for gitflow.
To force reinitialization, use: git flow init -f
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ git branch
* develop
  master
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ git push -u
--all
Всего 0 (изменений 0), повторно использовано 0 (изменений 0), повторно использовано пакетов
 0
remote: This repository moved. Please use the new location:
remote:   git@github.com:DarkkLord/2026-1--study--simulation-modeling.git
remote:
remote: Create a pull request for 'develop' on GitHub by visiting:
remote:      https://github.com/DarkkLord/2026-1--study--simulation-modeling/pull/new/devel
op
remote:
To github.com:darkklord/2026-1--study--simulation-modeling.git
 * [new branch]      develop -> develop
branch 'master' set up to track 'origin/master'.
branch 'develop' set up to track 'origin/develop'.
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$
```

Рисунок 4.5: Отправка файлов на сервер + инициализация git flow:

Создадим релиз с версией 1.0.0. Создадим журнал изменений. Добавим журнал изменений в индекс. Зальём релизную ветку в основную ветку. Отправим данные на github (рис. 4.6).

```
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ git flow rel
ease start 1.0.0
Переключились на новую ветку «release/1.0.0»

Summary of actions:
- A new branch 'release/1.0.0' was created, based on 'develop'
- You are now on branch 'release/1.0.0'

Follow-up actions:
- Bump the version number now!
- Start committing last-minute fixes in preparing your release
- When done, run:

     git flow release finish '1.0.0'

mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ standard-cha
ngelog --first-release
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ git add CHAN
GELOG.md
git commit -am 'chore(site): add changelog'
[release/1.0.0 9f0009c] chore(site): add changelog
 1 file changed, 6 insertions(+)
 create mode 100644 CHANGELOG.md
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ git flow rel
ease finish 1.0.0
Переключились на ветку «master»
Эта ветка соответствует «origin/master».
Merge made by the 'ort' strategy.
 CHANGELOG.md | 6 ++++++
 1 file changed, 6 insertions(+)
 create mode 100644 CHANGELOG.md
Уже на «master»
Ваша ветка опережает «origin/master» на 2 коммита.
  (используйте «git push», чтобы опубликовать ваши локальные коммиты)
fatal: нет описания метки?
Fatal: Tagging failed. Please run finish again to retry.
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ git push --a
ll
git push --tags
Перечисление объектов: 5, готово.
Подсчет объектов: 100% (5/5), готово.
При сжатии изменений используется до 8 потоков
Сжатие объектов: 100% (4/4), готово.
```

Рисунок 4.6: Создание релиза, журнала изменений, релиз в основную ветку и отправка на github:

Скопируем CHANGELOG.md в каталог release (рис. 4.7).

```
 * [new branch]      release/1.0.0 -> release/1.0.0
Everything up-to-date
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ mkdir -p ../
release
cp CHANGELOG.md ../release
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$
```

Рисунок 4.7: CHANGELOG.md в каталог release:

Создадим релиз (рис. 4.8).

```
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ gh release c
reate v1.0.0 -F ../release/CHANGELOG.md
Post "https://api.github.com/graphql": proxyconnect tcp: dial tcp 127.0.0.1:10809: connect:
 connection refused
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ gh release c
reate v1.0.0 -F ../release/CHANGELOG.md
https://github.com/DarkkLord/2026-1--study--simulation-modeling/releases/tag/v1.0.0
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$
```

Рисунок 4.8: Релиз:

Перейдём в каталог лабораторной, откроем julia и выполним код на рисунке (рис. 4.9).

```
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling$ cd labs/lab0
1
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01$ j
ulia
               _
   _       _ _(_)_     |  Documentation: https://docs.julialang.org
  (_)     | (_) (_)    |
   _ _   _| |_  __ _   |  Type "?" for help, "]?" for Pkg help.
  | | | | | | |/ _` |  |
  | | |_| | | | (_| |  |  Version 1.12.5 (2026-02-09)
 _/ |\__'_|_|_|\__'_|  |  Official https://julialang.org release
|__/                   |

julia> using Pkg

julia> Pkg.add("DrWatson")
    Updating registry at `~/.julia/registries/General.toml`
   Resolving package versions...
     Project No packages added to or removed from `~/.julia/environments/v1.12/Project.toml
`
    Manifest No packages added to or removed from `~/.julia/environments/v1.12/Manifest.tom
l`

julia> using DrWatson

julia> initialize_project("project"; authors="Ваше Имя", git=false)
```

Рисунок 4.9: Переход в каталог лабораторной и выполнение кода:

Переходим в созданый каталог (рис. 4.10).

```
  [e37daf67] + LibGit2_jll v1.9.0+0
  [29816b5a] + LibSSH2_jll v1.11.3+1
  [14a3606d] + MozillaCACerts_jll v2025.11.4
  [458c3c95] + OpenSSL_jll v3.5.4+0
  [83775a58] + Zlib_jll v1.3.1+2
  [8e850ede] + nghttp2_jll v1.64.0+1
  [3f19e933] + p7zip_jll v17.7.0+0
  ✓ OrderedCollections
  ✓ ChunkCodecCore
  ✓ FileIO
  ✓ PrecompileTools
  ✓ JLLWrappers
  ✓ ScopedValues
  ✓ ChunkCodecLibZlib
  ✓ JLD2
  ✓ JLD2 → UnPackExt
Precompiling packages finished.
  9 dependencies successfully precompiled in 41 seconds. 36 already precompiled.
  9 dependencies precompiled but different versions are currently loaded. Restart julia to
access the new versions. Otherwise, loading dependents of these packages may trigger furthe
r precompilation to work with the unexpected versions.
"project"

julia> cd("project")

julia>
```

Рисунок 4.10: Прееход в каталог:

Добавление необходимых пакетов (рис. 4.11).

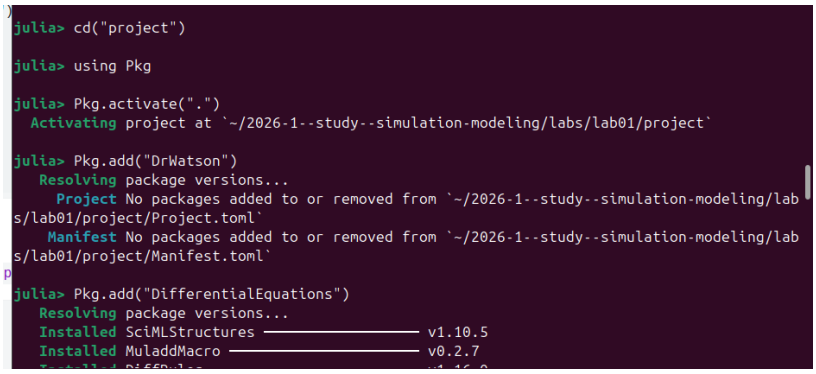


Рисунок 4.11: Добавление пакетов:

Проверка установленых пакетов (рис. 4.12).

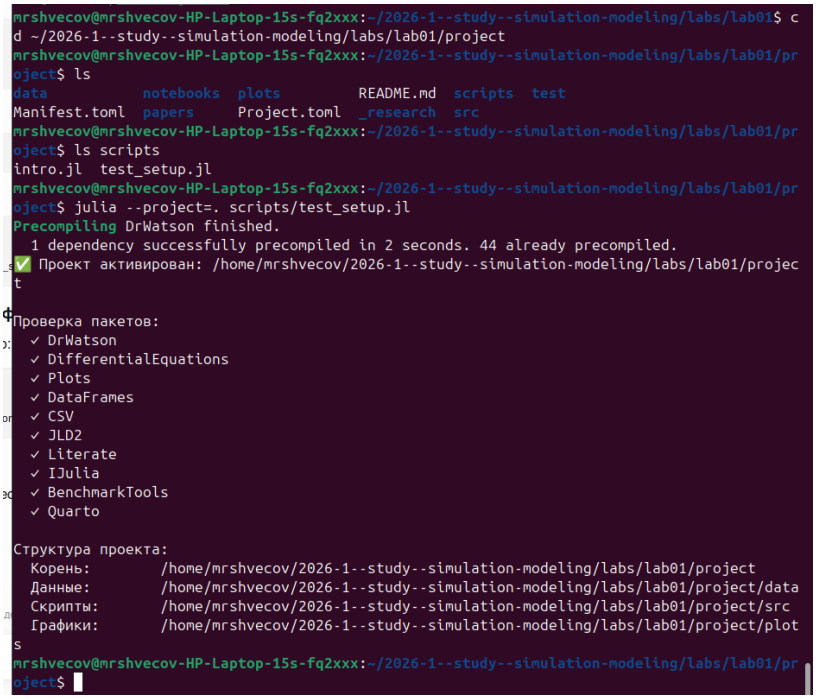


Рисунок 4.12: Проверка:

Реализация модели экспоненциального роста (рис. 4.13).

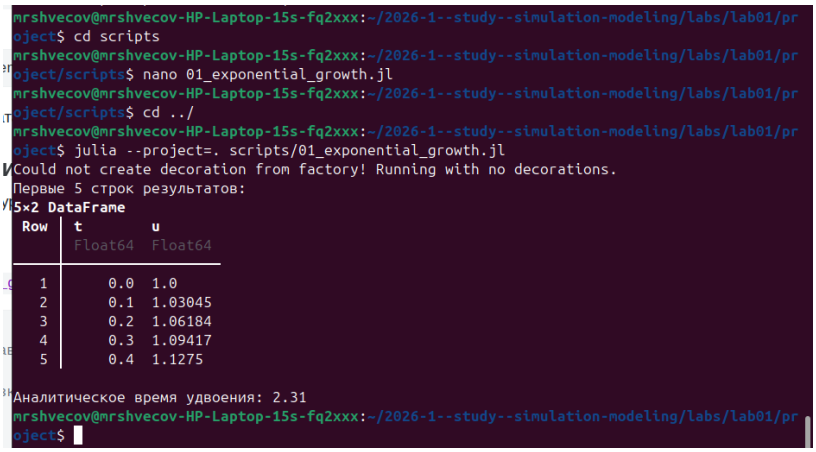


Рисунок 4.13: Реализация модели:

Просмотр получившегося графика в каталоге /plots (рис. 4.14).

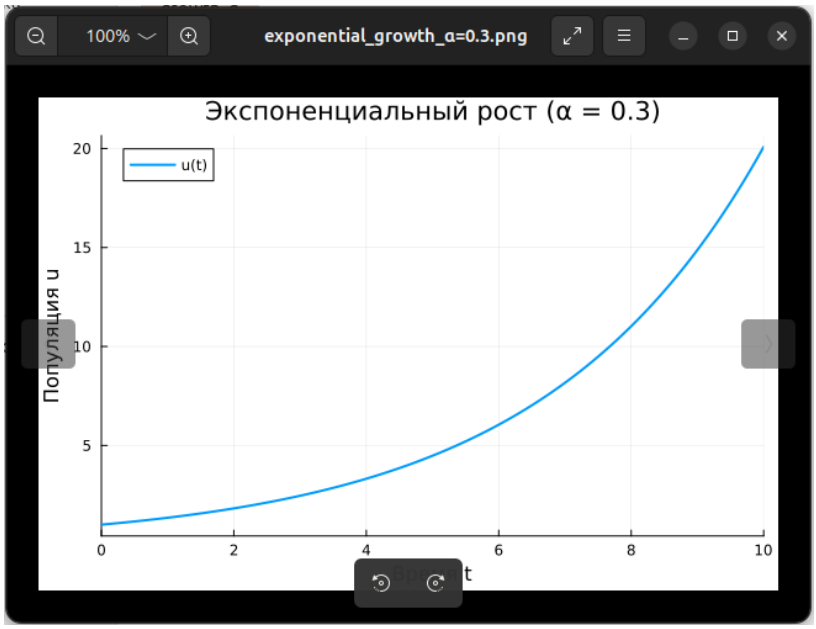


Рисунок 4.14: Просмотр графика:

Изменяем файл scripts/01_exponential_growth.lj и запускем его (рис. 4.15).

```
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/pr
oject$ julia --project=. scripts/01_exponential_growth.jl
Could not create decoration from factory! Running with no decorations.
Первые 5 строк результатов:
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

Аналитическое время удвоения: 2.31
Первые 5 строк результатов:
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

Аналитическое время удвоения: 2.31
ERROR: LoadError: UndefVarError: `dfusing` not defined in `Main`
Suggestion: check for spelling errors or missing imports.
Stacktrace:
 [1] top-level scope
   @ ~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/project/scripts/01_exponential_growth.
jl:68
 [2] macro expansion
   @ ~/.julia/packages/JLD2/r2pdD/src/loadsave.jl:72 [inlined]
 [3] include(mod::Module, _path::String)
   @ Base ./Base.jl:306
 [4] exec_options(opts::Base.JLOptions)
   @ Base ./client.jl:317
 [5] _start()
   @ Base ./client.jl:550
in expression starting at /home/mrshvecov/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/pro
ject/scripts/01_exponential_growth.jl:109
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/pr
oject$
```

Рисунок 4.15: Замена и просмотр:

Создадим скрипт для генерации производных форматов (scripts/tangle.jl) (рис. 4.16).

```
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/pr
oject/scripts$ nano tangle.jl
```

Рисунок 4.16: Создание файла:

Выполнение программы ulia –project=. scripts/02_exponential_growth.jl (рис. 4.17).

```
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx: ~/2026-1--study--simulation-modeling/lab...
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/pr
oject$ julia --project=. scripts/01_exponential_growth.jl
Could not create decoration from factory! Running with no decorations.
Первые 5 строк результатов:
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

Аналитическое время удвоения: 2.31
Первые 5 строк результатов:
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

Аналитическое время удвоения: 2.31
ERROR: LoadError: UndefVarError: `dfusing` not defined in `Main`
Suggestion: check for spelling errors or missing imports.
Stacktrace:
 [1] top-level scope
   @ ~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/project/scripts/01_exponential_growth.
jl:68
 [2] macro expansion
   @ ~/.julia/packages/JLD2/r2pdD/src/loadsave.jl:72 [inlined]
 [3] include(mod::Module, _path::String)
   @ Base ./Base.jl:306
 [4] exec_options(opts::Base.JLOptions)
   @ Base ./client.jl:317
 [5] _start()
   @ Base ./client.jl:550
in expression starting at /home/mrshvecov/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/pro
ject/scripts/01_exponential_growth.jl:109
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/pr
oject$
```

Рисунок 4.17: Выполнение программы:

Создадим производные форматы (scripts/tangle.jl) (рис. 4.18).

```
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/pr
oject$ julia --project=. scripts/tangle.jl scripts/01_exponential_growth.jl
Генерация из: scripts/01_exponential_growth.jl
[ Info: generating plain script file from `~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/
project/scripts/01_exponential_growth.jl`
[ Info: writing result to `~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/project/scripts/
01_exponential_growth/01_exponential_growth.jl`
  ✓ Чистый скрипт: /home/mrshvecov/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/project/sc
ripts/01_exponential_growth/01_exponential_growth.jl
[ Info: generating markdown page from `~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/proj
ect/scripts/01_exponential_growth.jl`
[ Info: writing result to `~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/project/markdown
/01_exponential_growth/01_exponential_growth.qmd`
  ✓ Quarto: /home/mrshvecov/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/project/markdown/
01_exponential_growth/01_exponential_growth.qmd
[ Info: generating notebook from `~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/project/s
cripts/01_exponential_growth.jl`
[ Info: writing result to `~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/project/notebook
s/01_exponential_growth/01_exponential_growth.ipynb`
  ✓ Notebook: /home/mrshvecov/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/project/noteboo
ks/01_exponential_growth/01_exponential_growth.ipynb

Готово! Все файлы созданы.
mrshvecov@mrshvecov-HP-Laptop-15s-fq2xxx:~/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/pr
oject$
```

Рисунок 4.18: Выполнение:

Выполняем Jupyter-ноутбук notebooks/01_exponential_growth/01_exponential_growth.ipynb (рис. 4.19).

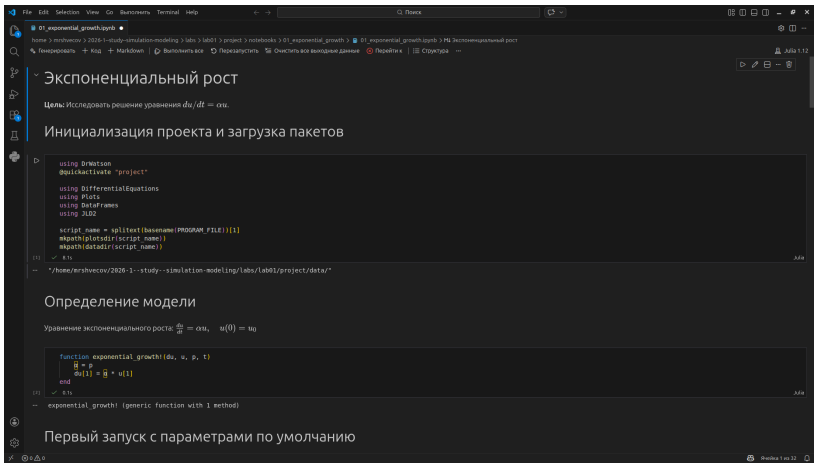


Рисунок 4.19: Результат: получаем файл

В каталоге отчёта в файл _quarto.yml включаем поддержку кода julia. (рис. 4.20).

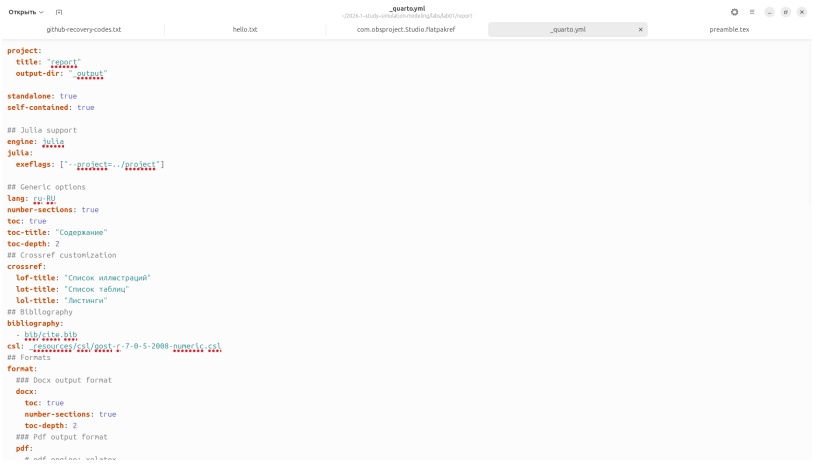


Рисунок 4.20: Результат:

В преамбуле preamble.tex подключаем пакет juliamono (рис. 4.21).

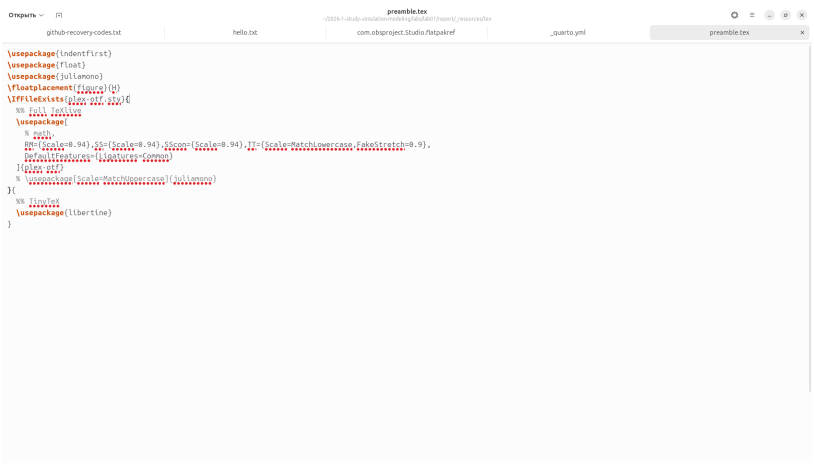


Рисунок 4.21: Результат:

Перенесём программу в файл scripts/02_exponential_growth.lj и выполним программу (рис. 4.22).

Рисунок 4.22: Результат:

Создадим производные форматы (рис. 4.23).

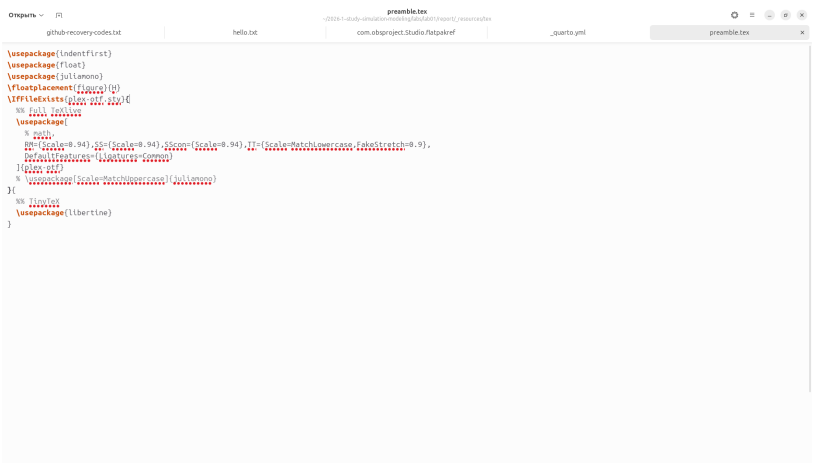


Рисунок 4.23: Результат:

Выполните Jupyter-ноутбук notebooks/02_exponential_growth/02_exponential_growth.ipynb (рис. 4.24).

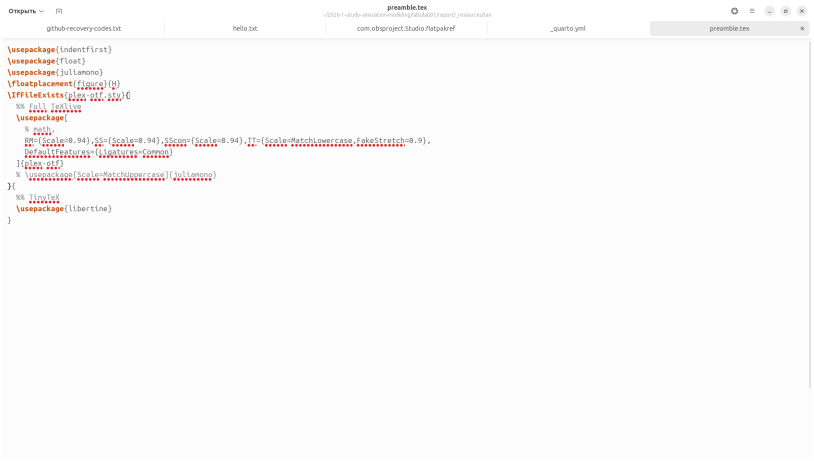


Рисунок 4.24: Результат:

5 Параметрическое исследование экспоненциального роста

5.1 Активация проекта и загрузка пакетов

ИЗМЕНЕНИЕ: Добавлен DrWatson для управления проектом и параметрами

```
using DrWatson
@quickactivate "project"  # ⌧⌧⌧⌧⌧⌧⌧⌧ ⌧⌧⌧⌧⌧⌧ DrWatson

using DifferentialEquations
using DataFrames
using Plots
using JLD2
using BenchmarkTools
```

Установка каталогов

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

```
"/home/mrshvecov/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/proj
```

5.2 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)
```

5.3 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 = OrdinaryDiffEqTsit5.Tsit5{typeof(OrdinaryDiffEqCore.trivia
 experiment_name = base_experiment
 tspan = (0.0, 10.0)
```

5.4 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)
```

5.5 Запуск базового эксперимента

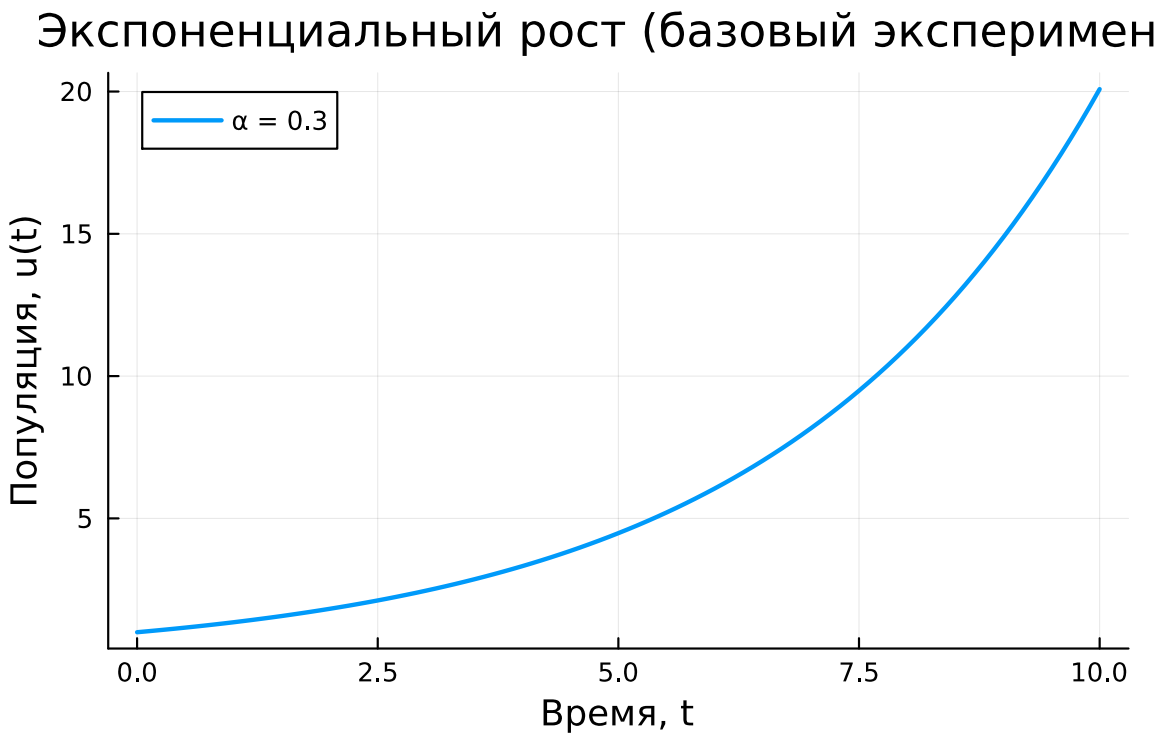
ИЗМЕНЕНИЕ: Используем produce_or_load для автоматического кэширования

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

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

```
[redacted] [redacted] [redacted]:
  [redacted] [redacted]: 20.08544851618676
  [redacted] [redacted]: 2.31
 [redacted] [redacted]: /home/mrshvecov/2026-1--study--simulation-
modeling/labs/lab01/project/data/startup/single/exp_growth_experime
```

5.6 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"))
```

```
"/home/mrshvecov/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/proj
```

5.7 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]
============================================================
```

5.8 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  # □□□□ □ □□□□□□□□□□□ □□□□□□
        )
    ) # □□□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□□ (□□□□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□ □□□□□□□□□□□, □□ □□□□□□ □□ d

    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
```

5.9 Анализ и визуализация результатов сканирования

НОВАЯ СЕКЦИЯ: Сравнительный анализ всех экспериментов

Сводная таблица результатов

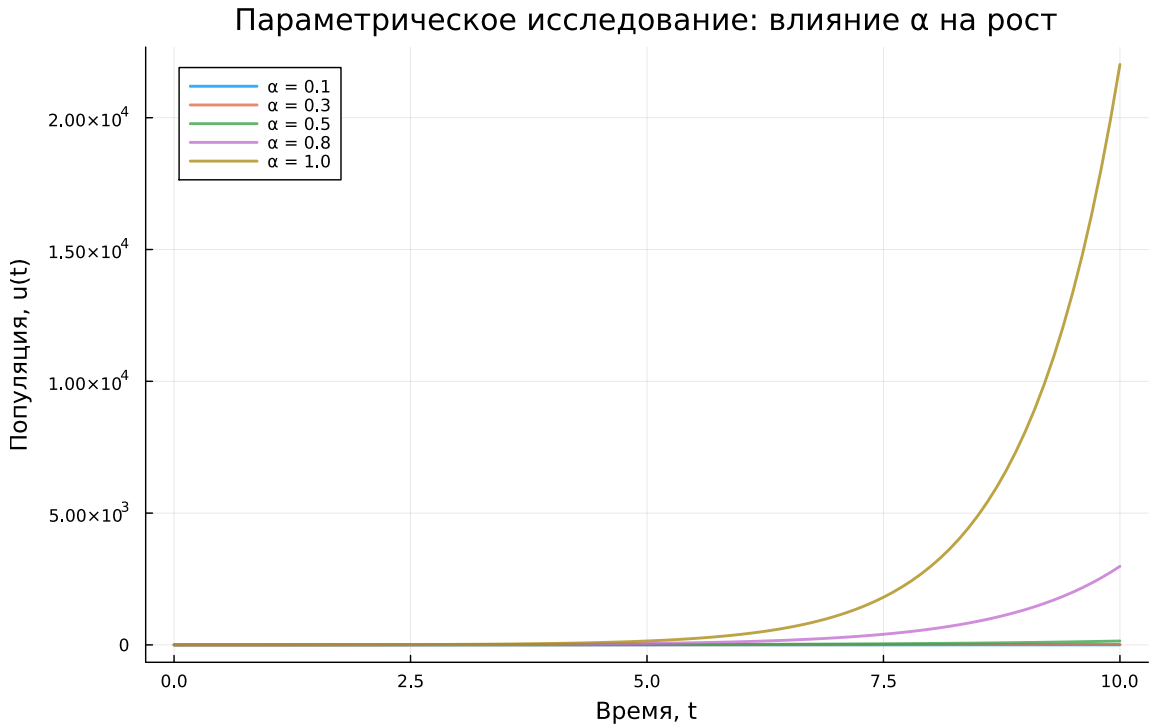
```
results_df = DataFrame(all_results)
println("\n□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□□:")
println(results_df[!, [:□, :final_population, :doubling_time]])
```

```
□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□□:
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
)
```



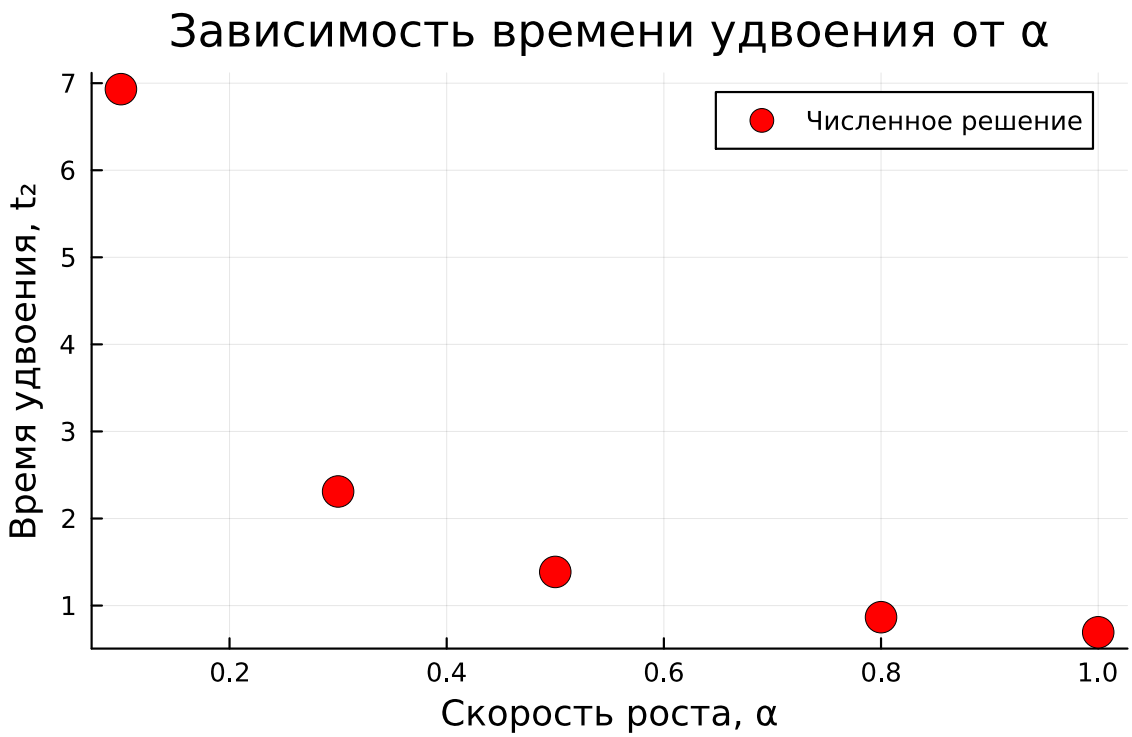
Сохраним график в папку plots

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

```
"/home/mrshvecov/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/proj
```

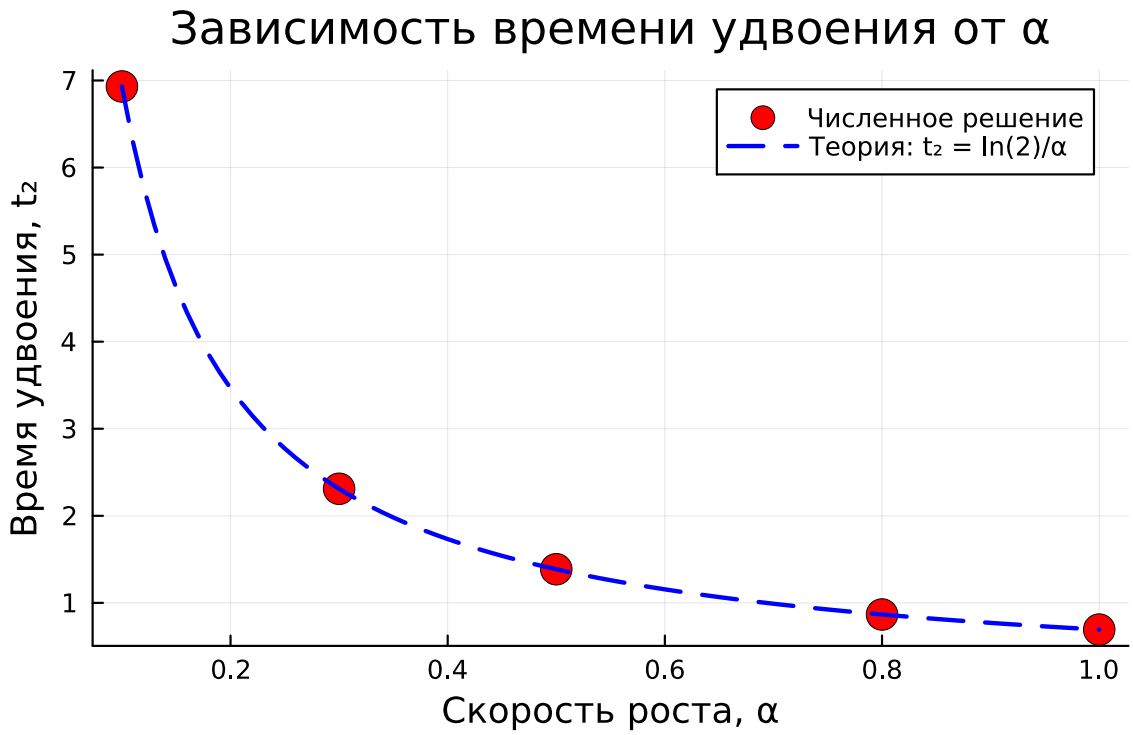
График зависимости времени удвоения от α

```
p3 = plot(results_df.□, results_df.doubling_time,
    seriestype=:scatter,
    label="□□□□□□□□□ □□□□□□□□",
    xlabel="□□□□□□□□□ □□□□□□, □",
    ylabel="□□□□□□ □□□□□□□□□, t₂",
    title="□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□ □",
    markersize=8,
    markercolor=:red,
    legend=:topright
)
```



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

```
α_range = 0.1:0.01:1.0

plot!(p3, α_range, log(2) ./ α_range,
    label="Теория: t₂ = ln(2)/α",
    lw=2,
    linestyle=:dash,
    linecolor=:blue
)
```



Сохраним график в папку plots

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

```
"/home/mrshvecov/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/proj
```

5.10 Бенчмаркинг с разными параметрами

ИЗМЕНЕНИЕ: Бенчмаркинг для разных значений α

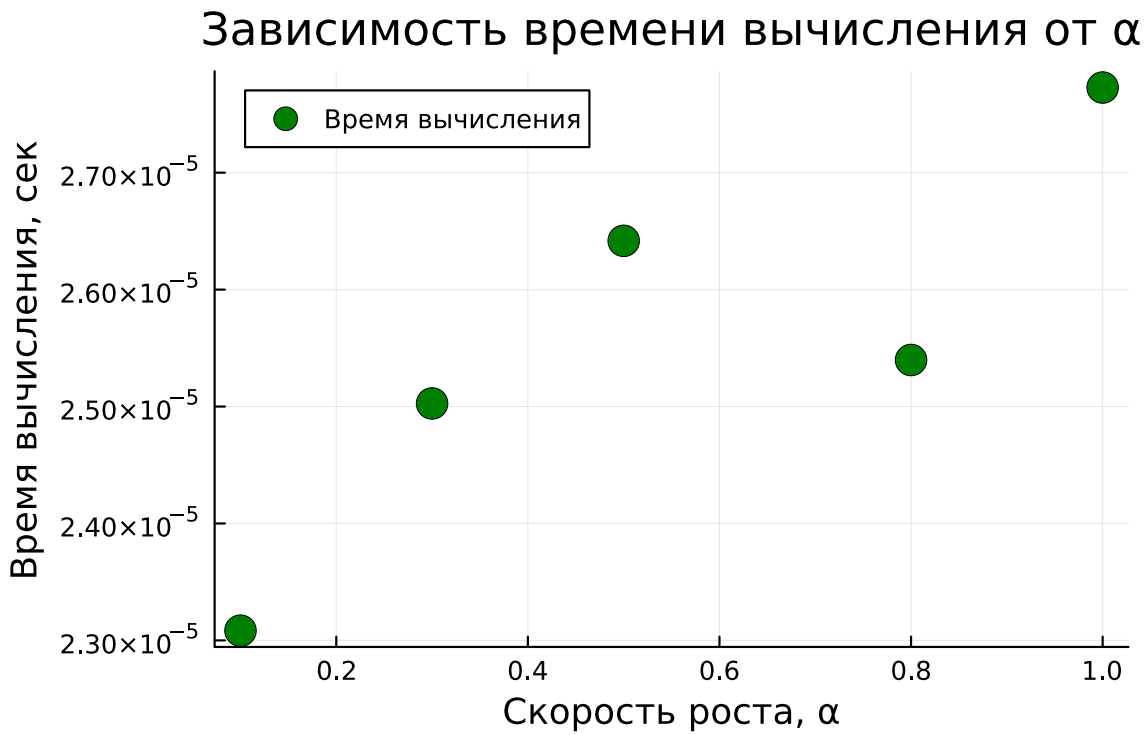
```
println("\n" * "="^60)
println("□□□□□□□□□□□□ □□□ □□□□□□ □□□□□□□□ □")
println("="^60)

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:
  □□□□□□□□ □□□□□: 0.0 □□□

□□□□□□□□□ □□□ □ = 0.3:
  □□□□□□□□ □□□□□: 0.0 □□□

□□□□□□□□□ □□□ □ = 0.5:
  □□□□□□□□ □□□□□: 0.0 □□□

□□□□□□□□□ □□□ □ = 0.8:
  □□□□□□□□ □□□□□: 0.0 □□□

□□□□□□□□□ □□□ □ = 1.0:
  □□□□□□□□ □□□□□: 0.0 □□□
```

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"))
```

```
"/home/mrshvecov/2026-1--study--simulation-modeling/labs/lab01/proj
```

5.11 Сохранение всех результатов

НОВАЯ СЕКЦИЯ: Сохранение сводных данных для последующего анализа

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

@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/startup/single/                - □□□□□□□ □□□□□□□□□□□
  • data/startup/parametric_scan/    - □□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□
```

- data/startup/all_results.jld2 - [illegible]
- plots/startup/ - [illegible]
- data/startup/all_plots.jld2 - [illegible]

[illegible]:

```
using JLD2, DataFrames
@load "data/startup/all_results.jld2"
println(results_df)
```

6 Выводы

В данной лабораторной работе мы подключили github и gitverse, установили необходимые пакеты, выполнели несколько программ, литератузировали код и создали несколько документов Jupyter-notebooks.

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).