**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Факультет прикладной математики-процессов управления**

**Программа бакалавриата**

**“Большие данные и распределенная цифровая платформа”**

**Отчет проделанной работе на 27.03.2025**

**по дисциплине «Алгоритмы и структуры данных»**

**на тему «Факторы, влияющие на точность стрельбы из нарезного оружия по статичным и динамичным целям»**

**Студент гр. 23Б15-пу**

**Абрахин Е.Д.**

**Преподаватель**

**Дик А.Г.**

**Санкт-Петербург**

**2025 г.**

Оглавление

1. [Формулировка задачи 3](#_Toc193929171)
2. [Цель работы 3](#_Toc193929172)
3. [Описание задачи (формализация задачи) 3](#_Toc193929173)
4. [Методы решения дифференциальных уравнений 5](#_Toc193929174)
5. [Метод Эйлера 6](#_Toc193929175)
6. [Модифицированный Метод Эйлера 6](#_Toc193929176)
7. [Метод Рунге-Кутты 4-го порядка (RK4) 7](#_Toc193929177)
8. [Метод Адамса-Бэшфорта 7](#_Toc193929178)
9. [Репозиторий проекта 8](#_Toc193929179)
10. [Вывод и планы на будущее 9](#_Toc193929180)
11. [Источники 10](#_Toc193929181)

# Формулировка задачи

Каждый охотник, начавший стрелять из нарезного оружия, должен знать, что такое баллистика и что нужно учитывать, чтоб попасть в цель. Что влияет на попадание в статичную и динамическую цель?

# Цель работы

Цель данной работы заключается в построении математической модели полёта снаряда, учитывающей основные физические и внешние факторы, влияющие на его траекторию. На основе данной модели предполагается реализация программного кода, позволяющего проводить численные эксперименты для анализа влияния различных параметров (таких как начальная скорость, угол выстрела, сопротивление воздуха, атмосферные условия, гравитация и другие) на точность попадания в статические и динамические цели. Итогом работы является выявление ключевых факторов, оказывающих наибольшее влияние на точность стрельбы, и создание программы для расчета траектории пули с учетом множества параметров.

# Описание задачи (формализация задачи)

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие этапы:

1. Анализ физических основ баллистики.

* Рассмотреть основные уравнения движения тела в воздухе, включая влияние силы тяжести, аэродинамического сопротивления и других внешних факторов.
* Определить ключевые параметры, влияющие на траекторию полёта снаряда.

1. Формализация математической модели.

* Записать систему дифференциальных уравнений движения снаряда с учётом начальных условий.
* Включить в модель поправки на сопротивление воздуха, боковой ветер, температуру, давление и т. д.
* В случае анализа дальнобойной стрельбы учесть специфические факторы, как например эффект Кориолиса или деривация.

1. Разработка алгоритма и реализация программного кода.

* Выбрать численные методы решения системы уравнений (например, метод Рунге-Кутты).
* Реализовать алгоритм расчёта траектории полёта снаряда на языке программирования.
* Создать интерфейс для изменения входных параметров и визуализации результатов.

1. Моделирование попадания в цель.

* Рассмотреть два типа целей: статическую (неподвижную) и динамическую (движущуюся).
* Провести анализ чувствительности модели к изменению входных параметров.

1. Анализ полученных данных и формирование выводов.

* Провести серию численных экспериментов для выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на точность попадания.

Таким образом, данная работа охватывает полный цикл исследования баллистики выстрела – от теоретического анализа и математического моделирования до практической реализации и оценки влияния различных факторов на точность стрельбы.

# Методы решения дифференциальных уравнений

В предыдущем отчете была составлена предварительная система дифференциальных уравнений, описывающая движение пули в воздушной среде с учетом аэродинамического сопротивления, силы тяжести и влияния ветра. Данная система включает уравнения для компонент скорости и положения пули во времени:

Здесь ​ — коэффициент аэродинамического сопротивления, — плотность воздуха, — площадь поперечного сечения пули, — ее полная скорость, а ,,​​ — силы, обусловленные воздействием ветра.

Плотность воздуха определяется уравнением состояния:

Где — давление, — газовая постоянная, — температура.

Давление изменяется с высотой по экспоненциальному закону:

где — давление на уровне моря, — масштабная высота атмосферы.

Дополнительно учитываются силы, вызванные влиянием встречного или попутного ветра:

Для численного решения данной системы уравнений необходимо применять различные методы интегрирования, позволяющие точно рассчитать траекторию полета пули с учетом всех действующих сил.

# Метод Эйлера

В математике и вычислительной технике метод Эйлера — это численный метод первого порядка для решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) с заданным начальным значением. Это самый простой явный метод для численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений [[23]](#_Источники_1).

Плюсы:

* Очень прост в реализации.
* Быстрые вычисления.

Минусы:

* Низкая точность при больших шагах .
* Сильно накапливает ошибки.
* При слишком малом шаге вычисления становятся медленными.

# Модифицированный Метод Эйлера

Метод учитывает среднее ускорение между начальной и промежуточной точкой.

Вычисляем пробные значения:

Корректируем скорость скорости:

Плюсы:

* Прост в реализации.
* Гораздо точнее обычного метода Эйлера.

Минусы:

* Все еще сильно накапливает ошибки.
* Требует больше расчетов за шаг.

# Метод Рунге-Кутты 4-го порядка (RK4)

[[24]](#_Источники_1) Метод вычисляет четыре промежуточных шага:

Затем производится обновление:

Плюсы:

* Высокая точность.
* Позволяет использовать относительно большие шаги времени.

Минусы:

* Сложнее в реализации.
* Требует еще больше расчетов за шаг.

# Метод Адамса-Бэшфорта

Это многошаговый метод, который использует несколько предыдущих значений для предсказания будущего состояния. Например, метод 4-го порядка:

Где – производные от скорости и положения.

Плюсы:

* Более эффективен при больших шагах.
* Высокая точность.

Минусы:

* Требует нескольких предыдущих шагов.
* Плохо справляется с резкими изменениями.

# Репозиторий проекта

<https://github.com/FasterXaos/Algorithms_and_Data_Structures>

# Вывод и планы на будущее

В ходе работы были рассмотрены основные численные методы интегрирования, позволяющие решать составленную систему уравнений.

Анализ методов решения показал, что все они являются вариациями друг друга, отличаясь балансом между точностью и вычислительными затратами. Наиболее простой, но неточный метод — это метод Эйлера, в то время как метод Рунге-Кутты 4-го порядка обеспечивает высокую точность при разумных вычислительных затратах. Улучшенный метод Эйлера и многошаговый метод Адамса-Бэшфорта представляют собой промежуточные варианты.

В будущем формулы расчета траектории все еще могут измениться. В ближайшее время планируется реализация численного метода для расчета траектории, начиная с простейшего метода Эйлера и развития его до Рунге-Кутты.

# Источники

1. Ахматгатин Анвар Амирович ОСНОВЫ БАЛЛИСТИКИ. (дата обращения: 12.03.2025)
2. Брайан Литц Прикладная баллистика для стрельбы на большие расстояния. 2 изд. Cedar Springs: Applied Ballistics, LLC, 2011. (дата обращения: 12.03.2025)
3. Евгений Васильевич Чурбанов Краткий курс баллистики. 2 изд. Санкт-Петербург: Балт. гос. техн. ун-т., 2006. (дата обращения: 12.03.2025)
4. Дмитриевский А.А. Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика. 4 изд. Москва: Машиностроение, 2005. (дата обращения: 12.03.2025)
5. Robert L. McCoy Modern Exterior Ballistics: The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles. 2 изд. Atglen, PA: Schiffer Publishing, 2012. (дата обращения: 12.03.2025)
6. С. В. Беневольский, Ю. Б. Колесов ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ ВНЕШНЕЙ БАЛЛИСТИКИ. Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета, 2009. (дата обращения: 12.03.2025)
7. Влияние ветра на полет пули // strelokpro.online (дата обращения: 12.03.2025)
8. 3.2 Effects of Winds // www.sierrabullets.com (дата обращения: 12.03.2025)
9. Гиза Нэджи СТРЕЛЬБА в ветер // Калашников. Высокоточная стрельба. 2005. С. 82. (дата обращения: 12.03.2025)
10. Влияние ветра на полет пули // shooting-ua.com (дата обращения: 12.03.2025)
11. Long range shooting // en.wikipedia.org (дата обращения: 12.03.2025)
12. Aerodynamic Drag Measurement and Modeling for Small Arms Improving on Ballistic Coefficients // appliedballisticsllc.com (дата обращения: 12.03.2025)
13. Ballistic coefficient // en.wikipedia.org (дата обращения: 12.03.2025)
14. Расчет скорости и сопротивления, для полета пули или шара пневматики на дозвуке // snakeproject.ru (дата обращения: 12.03.2025)
15. Решение задач внешнебаллистического проектирования на основе математического и компьютерного моделирования // www.researchgate.net (дата обращения: 12.03.2025)
16. Моделирование динамических систем: задача внешней баллистики // habr.com (дата обращения: 12.03.2025)
17. Computational Atmospheric Trajectory Simulation Analysis of Spin-Stabilized Projectiles and Small Bullets // www.researchgate.net (дата обращения: 12.03.2025)
18. Modeling Ballistic Trajectories with Calculus and Numerical Methods // tinycomputers.io (дата обращения: 12.03.2025)
19. Программа расчета траектории снаряда или пули с учетом силы тяжести и сопротивления воздуха // snakeproject.ru (дата обращения: 12.03.2025)
20. Ballistic Calculator.Net // github.com (дата обращения: 12.03.2025)
21. AB Quantum™ - Applied Ballistics // appliedballisticsllc.com (дата обращения: 12.03.2025)
22. Баллистика нарезного оружия // www.strelokpro.online (дата обращения: 12.03.2025)
23. Метод Эйлера // en.wikipedia.org URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Euler\_method (дата обращения: 26.03.25).
24. Метод Рунге — Кутты // en.wikipedia.org URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\_Рунге\_—\_Кутты (дата обращения: 26.03.25).