**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Факультет прикладной математики-процессов управления**

**Программа бакалавриата**

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

**Отчет проделанной работе на 30.04.2025**

**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](#_Toc196855548)
2. [Цель работы 3](#_Toc196855549)
3. [Описание задачи (формализация задачи) 3](#_Toc196855550)
4. [Доработка интерфейса 5](#_Toc196855551)
5. [Описание ограничений на вводимые параметры и их влияние на полет 5](#_Toc196855552)
6. [Репозиторий проекта 10](#_Toc196855553)
7. [Вывод и планы на будущее 11](#_Toc196855554)
8. [Источники 12](#_Toc196855555)

# 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, ветер, температуру, давление и т. д.

1. Разработка алгоритма и реализация программного кода.

* Выбрать численные методы решения системы уравнений.
* Реализовать алгоритм расчёта траектории полёта снаряда на языке программирования методом Эйлера и методом Рунге-Кутты 4-го порядка.
* 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.

# Доработка интерфейса

Для повышения удобства и гибкости моделирования структура интерфейса разбивает все входные параметры на логические блоки-вкладки.

Таблица 1. Разбиение параметров по вкладкам интерфейса

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Блок | Параметры | Описание |
| **Стрельба** | • **Скорость (v₀, м/с)**  • **Скорость ветра (м/с)**  • **Угол ветра (°)**  • **Горизонт. угол (°)**  • **Вертик. угол (°)** | Задают начальные условия полёта пули и вектор ветра: скорость, направление, углы вылета в плоскостях. |
| **Пуля** | • **Масса (кг)**  • **Площадь сечения (м²)**  • **Форм-фактор**  • **Модель (G1/G7)** | Физические характеристики снаряда: масса и аэродинамика (форма + выбранная баллистическая модель сопротивления). |
| **Атмосфера** | • **Давление (Па)**  • **Температура (°C)**  • **Влажность (0–1)** | Параметры среды: влияют на плотность воздуха и скорость звука, а значит — на силу сопротивления. |
| **Местоположение** | • **Широта (°)**  • **Высота (м)** | Географические условия: рассчитывают силу тяжести и изменение давления с высотой. |
| **Расчет** | • **Мин. скорость (м/с)**  • **Мин. высота (м)**  • **Макс. дальность (м)**  • **Шаг (с)**  • **Метод (Euler/RK4)** | Численные параметры интегрирования: когда останавливать расчёт и какой метод использовать. |
| **Цель** | • **Радиус (м)**  • **x(t), y(t), z(t)** (функции) | Определяют модель движения цели и радиус попадания для подбора углов и визуализации. |

# Описание ограничений на вводимые параметры и их влияние на полет

В данном разделе мы устанавливаем физические и численные ограничения на вводимые в баллистический калькулятор параметры, а также описываем, как изменение каждого из них сказывается на траектории полёта пули, исходя из реализации расчетов в коде и проведенных тестов.

Таблица 2. Параметры стрельбы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Диапазон | Код / Формула | Влияние на траекторию |
| **С**корость | (0…1500] м/с  При больших значениях возможен выход за таблицу сопротивлений |  | • ↑ v₀ → ↑ начальная кин. энергия → сильнее инерция → растёт дальность.  • ↓ v₀ → пулю быстро гасит сопротивление, ↓ дальность и высота. |
| **Скорость ветра** | [0…+40] м/с  Можно задать выше, но это будет намного больше, чем ураганный ветер. |  | • Ветер либо поддувает, либо замедляет пулю.  • Больший ветер → сильнее боковой снос. |
| **Угол ветра** | [0…360) ° | перевод в радианы для | • Определяет направление ветра: – 180° = ветер «сзади» (усиливает дальность), 0° = встречный (тормозит пулю), – 90°/270° = боковой (максимальный снос по Y) |
| **Горизонтальный угол** | [0…360) ° | в расчёте , | • Поворачивает направление полёта в горизонтальной плоскости;  • ±180° → вдоль X, ±90° → вдоль оси Y, 0° → назад. |
| **Вертикальный угол** | [0…360) ° | = в , , | • Определяет направление вылета пули по высоте;  • ↑ угол → ↑ подъём, ↓ горизонтальная скорость → ↓ дальность, ↑ макс. высота, если угол больше ~34°, иначе дальность увеличивается, а высота падает.  • ↓ угол (отриц.) → стрельба навесом вниз |

Таблица 3. Параметры пули

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Диапазон | Код / Формула | Влияние на траекторию |
| **М**асса (кг) | (0…0.1] кг  Масса больше будет сильно отличатся от массы пули |  | • ↑ M → ↓ ускорение от аэродинамического сопротивления a∼Fd/M → пуля дольше сохраняет скорость → ↑ дальность.  • ↓ M → пулю сильнее «тормозит» сопротивление, ↓ дальность. |
| Площадь сечения (м²) | (0…0.01] м²  Сечение больше будет сильно отличатся от сечения пули |  | • ↑ A → ↑ сопротивление Fd→ ↑ торможение → ↓ дальность;  • ↓ A → ↓ сопротивление → ↑ дальность. |
| **Form-factor** | (0…5]  Значение больше будет давать сильно большее сопротивление | входит в расчёт силы сопротивления: | • ↑ formFactor → увеличивает эффективный коэффициент сопротивления → пуля быстрее теряет скорость → ↓ дальность и высота.  • ↓ formFactor → пуля преодолевает воздух лучше, ↓ потеря скорости. |
| **Модель (G1/G7)** | Выбор из {G1, G7} | Cd = dragTable.dragCoefficient(mach, model) | • Разные баллистические кривые сопротивления (G1 — классика, G7 — оптимизирована для современных субкалиберных пуль).  • Выбор меняет функционал Cd(mach) → существенно влияет на замедление. |

Таблица 4. Атмосферные условия

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Диапазон | Код / Формула | Влияние на траекторию |
| Давление (Па) | [50 000…110 000] Па  Для более низкого давления формулы будут вносить все больше погрешности | Входит в плотность воздуха: | • ↑ давление → ↑ плотность воздуха  → ↑ сопротивление воздуха → ↓ дальность.  • ↓ давление → меньшее сопротивление → ↑ дальность. |
| Температура (°C) | [–50…+50] °C | В расчётах: (в Кельвинах) | • ↑ температура → ↑ → ↓ плотность → ↓ сопротивление → ↑ дальность. |
| Влажность | [0.0…1.0] | Учитывается в расчёте плотности воздуха | • ↑ влажность → немного ↑ плотность → ↑ сопротивление → незначительно ↓ дальность. |

Таблица 5. Параметры местоположения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Диапазон | Код / Формула | Влияние на траекторию |
| Широта (°) | [–90…+90] ° | Может использоваться для расчёта ускорения свободного падения | • ↑ широта (ближе к полюсу) → немного ↑ → быстрее пуля падает → ↓ дальность.  • На экваторе ≈ 9.78, на полюсе ≈ 9.83. |
| Высота над уровнем моря (м) | [–500…10 000] м  Дальше формулы не гарантируют правильность атмосферных расчетов. | Корректирует давление, плотность: | • ↑ высота → ↓ давление и ↓ плотность воздуха → ↓ сопротивление → ↑ дальность. |

Таблица 6. Параметры местоположения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Диапазон | Код / Формула | Влияние на траекторию |
| Мин. скорость (м/с) | (0 … ) | Условие velocity > minVelocity | • Если слишком велико → расчёт преждевременно завершится.  • Если слишком мало → расчёт будет длиться после касания земли или ниже. |
| Мин. высота (м) | Любой | Условие z >= minAltitude | • Обычно 0 → точное завершение на земле.  • Отрицательное → позволяет пройти ниже горизонта до заданной глубины. |
| Макс. дальность (м) | (0 … 1 000 000] | Условие  ≤ maxDistance | • Ограничивает дальность моделирования, чтобы не вести долгий или бессмысленный расчет. |
| Шаг интегрирования (с) | (0.001 … 0.5] | Шаг в цикле | • ↓ → ↑ точность (особенно в Euler), но ↓ быстродействие.  • ↑ → ↓ точность, возможны значительные ошибки. |

Таблица 5. Параметры местоположения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Диапазон | Код / Формула | Влияние на траекторию |
| **Радиус** (м) | (0…100]  Верхний предел зависит от условий. | Используется при проверке попадания: if distance ≤ targetRadius | • Чем больше радиус → проще попасть.  • Мелкий радиус не даст более точных углов, так как подбор в любом случае подбирается для попадания в центр мишени. |
| **x(t)** | любая функция от t ≥ 0 | парсинг через Sympy:expr = sympify(xExpr)xFunc = lambdify(t, expr) | • Определяет продольное положение цели в момент t.  • Быстрые изменения → сложнее угадывать углы и время попадания. |
| **y(t)** | любая функция от t ≥ 0 | аналогично x(t) | • Определяет боковое смещение цели.  • Большая амплитуда → сильнее разбросить пулю по Y. |
| **z(t)** | любая функция от t ≥ 0 | аналогично x(t) | • Задаёт высоту цели.  • Цель движется вверх/вниз → влияет на выбор вертикального угла и время полёта. |

# Репозиторий проекта

Текущий код программы представлен в репозитории проекта:

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

# Вывод и планы на будущее

В рамках данной работы был значительно доработан пользовательский интерфейс — введена система вкладок, логически разделяющая параметры по их физическому смыслу (полет, снаряд, атмосфера, местоположение, параметры расчёта и цели). Кроме того, была проведена первичная проверка допустимых диапазонов значений для каждого параметра и их физической обоснованности. В процессе тестирования были зафиксированы основные зависимости между параметрами и траекторией, что позволило провести поверхностный анализ влияния каждого из них на полёт и попадание в цель.

Таким образом, планы на будущее остаются прежними:

Провести всесторонний анализ влияния различных параметров (массы, формы, скорости, сопротивления, атмосферных условий и др.) на точность и дальность стрельбы; количественно оценить степень влияния каждого из них, включая нелинейные эффекты и зависимости.

# 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).
25. World Geodetic System (1984) // ahrs.readthedocs.io URL: https://ahrs.readthedocs.io/en/stable/wgs84.html#normal-gravity-above-the-surface (дата обращения: 16.04.2025).