**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Факультет прикладной математики-процессов управления**

**Программа бакалавриата**

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

**Отчет проделанной работе на 20.03.2025**

**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](#_Toc193399561)
2. [Цель работы 3](#_Toc193399562)
3. [Описание задачи (формализация задачи) 3](#_Toc193399563)
4. [Факторы стрельбы 5](#_Toc193399564)
5. [Уравнения движения пули с учётом основных факторов 9](#_Toc193399565)
6. [Репозиторий проекта 10](#_Toc193399566)
7. [Вывод и планы на будущее 11](#_Toc193399567)
8. [Источники 12](#_Toc193399568)

# 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.

# Факторы стрельбы

Стрельба из ручного огнестрельного нарезного оружия представляет собой сложный физический процесс, который зависит от множества внешних факторов. В данной главе рассматривается внешняя баллистика, то есть движение пули после выхода из ствола до момента попадания в цель. Внутренняя баллистика (процессы, происходящие до вылета пули) здесь не анализируется, так как она определяется типом боеприпаса и характеристиками ствола, влияя лишь на начальные условия выстрела. Терминальная баллистика (поведение пули после попадания в цель) также не рассматривается, поскольку в данной работе фокус делается на точности стрельбы, а не на поражающей способности пули.

**Общая формула движения пули**

Полет пули можно описать уравнением движения, в котором результирующая сила является суммой всех воздействующих факторов:

где:

𝑚 — масса пули,

𝑎 — ускорение,

— сила тяжести,

— аэродинамическое сопротивление,

— подъемная сила (эффект Магнуса),

— сила Кориолиса (влияние вращения Земли),

— воздействие ветра,

— влияние атмосферных условий.

Следующее описание лишь обозревает и дает понять, что из себя представляют различные факторы, влияющие на полет пули. Решение о том, стоит ли реализовывать некоторые специфические из них, может измениться.

1. Сила тяжести

Сила тяжести является основным фактором, влияющим на движение пули. Под ее воздействием пуля движется по параболической траектории, испытывая ускорение в направлении вниз:

где:

— ускорение свободного падения.

Из-за гравитации пуля отклоняется вниз относительно линии прицеливания, что требует корректировки угла стрельбы для точного попадания по высоте.

1. Аэродинамическое сопротивление (баллистический коэффициент, форм-факторы G1 и G7)

Сопротивление воздуха существенно влияет на дальность и скорость пули. Эта сила зависит от скорости пули, плотности воздуха и формы снаряда:

где:

— коэффициент аэродинамического сопротивления,

— плотность воздуха,

— площадь поперечного сечения пули,

— скорость пули.

Для практических расчетов используют баллистический коэффициент (BC), который определяет, насколько хорошо пуля противостоит сопротивлению воздуха:

Существует несколько моделей аэродинамических форм пуль, наиболее популярные:

* G1 — стандартная плосконосая форма, характерная для устаревших боеприпасов.
* G7 — более современная обтекаемая форма с низким сопротивлением воздуха, часто используемая для дальнобойных винтовочных пуль.

Форм-фактор связывает реальный снаряд с эталонным:

где:

— коэффициент сопротивления для эталонной формы.

3. Подъемная сила (эффект Магнуса)

Если пуля вращается вокруг своей оси, она может испытывать подъемную силу, известную как эффект Магнуса:

где:

— угловая скорость вращения пули,

— коэффициент Магнуса.

Эта сила может немного корректировать траекторию пули, особенно при дальнобойной стрельбе.

4. Влияние атмосферных условий (давление, температура, высота над уровнем моря)

Атмосферные параметры изменяют плотность воздуха , что влияет на аэродинамическое сопротивление. Основные зависимости:

где:

— атмосферное давление,

— универсальная газовая постоянная,

— температура в кельвинах.

С повышением температуры плотность воздуха уменьшается, что снижает сопротивление воздуха и увеличивает дальность полета.

Высота над уровнем моря также уменьшает плотность воздуха, уменьшая сопротивление:

где:

— давление на высоте ,

— давление на уровне моря,

— высота барометрического слоя (~8 км).

5. Ветер

Ветер оказывает поперечное и продольное влияние:

где:

— скорость ветра,

— время полета.

Поперечный ветер отклоняет пулю в сторону, а продольный изменяет скорость. Для точной стрельбы необходимо учитывать направление и скорость ветра.

6. Влияние вращения Земли (эффект Кориолиса)

Эффект Кориолиса вызывает боковое отклонение пули в зависимости от широты:

где:

— угловая скорость вращения Земли.

На северном полушарии пуля смещается вправо, на южном — влево. Влияние особенно заметно при стрельбе на дистанции более 800 м.

7. Деривация пули

Деривация — это боковое отклонение пули в направлении вращения нарезов, вызванное сочетанием гироскопического эффекта и аэродинамического сопротивления. Описание этого явления математически является достаточно трудной задачей, зависящей от множества факторов. В книге Брайна Литца [[2]](#_Источники_1):

где:

— величина деривации в дюймах,

— фактор гироскопической стабильности, вычисляемый по Miller Twist Rule,

— время полета пули.

Для нарезного оружия деривация заставляет пулю смещаться вправо, если нарезы правосторонние (закручивание вправо).

# Уравнения движения пули с учётом основных факторов

Чтобы определить траекторию пули, нужно составить систему дифференциальных уравнений для её движения в пространстве. Мы рассматриваем основные силы:

* Сила тяжести
* Аэродинамическое сопротивление
* Влияние атмосферных условий (влияние плотности воздуха )
* Ветер (влияние скорости и направления воздушного потока )

Система уравнений движения будет следующей:

где:

— координаты пули в пространстве,

— составляющие вектора скорости,

— модуль скорости,

— компоненты силы ветра.

Не забываем учитывать атмосферные факторы:

Учитываем ветер, который добавляет компоненты скорости :

Таким образом получаем основные дифференциальные уравнения, описывающие движение пули под действием основных сил. Их численное решение (например, методом Рунге-Кутты) позволит построить графики и рассчитать точку попадания.

# Репозиторий проекта

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

# Вывод и планы на будущее

В ходе работы была сформулирована цель проекта, а также поставлены задачи, направленные на изучение и моделирование факторов, влияющих на точность стрельбы из нарезного оружия. Было проведено рассмотрение внешних факторов баллистики, таких как сила тяжести, аэродинамическое сопротивление, влияние атмосферных условий, скорость и направление ветра, а также специфические эффекты, включая влияние вращения Земли и деривацию пули. На основе этого анализа была построена предварительная математическая модель, описывающая движение пули и составляющие формулы для расчета её траектории с учетом этих факторов.

В ближайшее время планируется уточнить и доработать формулы расчета, окончательно определившись с факторами, которые будут учтены в процессе программирования. Также будет проведено исследование численных методов, наиболее подходящих для решения составленных уравнений.

# Источники

Подробное описание списка литературы с рассмотрением плюсов и минусов приведено в файлах:



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)