

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

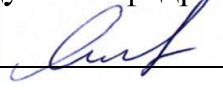
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут комп'ютерних наук та управління проектами

Кафедра інформаційних управляючих систем та технологій

"Допущений до захисту"

Завідувач кафедри ІУСТ



к.т.н, доц. Михелєв І.Л.

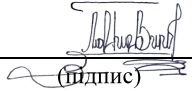
" ____ " _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти "магістр"

**на тему: «Дослідження моделей та проектування інформаційної
підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду»**

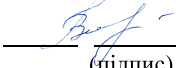
Виконав: студент групи 6145 мз


_____ **Вальчук І.С.**
(підпис)

Керівник роботи:

Викладач каф. ІУСТ, PhD.,

(посада, науковий ступінь вчене звання)


_____ **Ворона М.В.**
(підпис)

м. Миколаїв – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут комп'ютерних наук та управління проектами

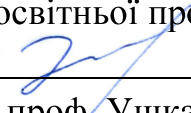
Кафедра інформаційних управляючих систем та технологій

Спеціальність 124 "Системний аналіз"

Освітня програма "Системний аналіз"

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Гарант освітньої програми


д.ф.-м.н, проф. Ушкац М.В.

"___" _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти "магістр"

Студенту Вальчуку Івану Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження моделей та проектування інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду

Керівник роботи викладач, PhD Ворона Михайло Владиславович

Затверджені наказом ректора № 1055-уч. від "08" жовтня 2024 року.

2. Термін подання роботи: 15 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) ДСТУ щодо обробки інформації, літературні джерела, технічна документація на існуючі аналоги систем, матеріали наукового стажування

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

Дослідження методів сортування, проектування ІС, розробка ІС, техніко-економічне обґрунтування розробки, охорона праці, навколишнього охорона середовища, додатки

5. Перелік презентаційних матеріалів постановка задачі, недоліки системи, концептуальна модель, діаграма use case, логічна модель БД, діаграма розгортання, екранні форми, висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Ворона М.В.	05.09.2023	22.12.2023
2	Ворона М.В.	23.12.2023	15.06.2024
3	Ворона М.В.	15.06.2024	25.09.2024
4	Ворона М.В.	25.09.2024	14.11.2024
5	Ворона М.В.	25.09.2024	14.11.2024
6	Ворона М.В.	25.09.2024	14.11.2024

7. Дата видачі завдання 05 вересня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження та аналіз предметної галузі	22.12.2024	
2	Розробка концепції	15.03.2024	
3	Розділ з розробки проектних рішень по системі (та її частинах)	15.06.2024	
4	Реалізація проекту та розробка робочої документації	25.09.2024	
5	Обчислення економічної ефективності	14.11.2024	
6	Вирішення питань охорони праці та навколишнього середовища	14.11.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	14.11.2024	
8	Подання магістерської роботи на перевірку на плагіат	16.11.2024	
9	Подання магістерської роботи рецензенту	20.11.2024	
10	Подання магістерської роботи на державний захист	15.12.2024	

Студент


(підпис)

Вальчук І.С.

(ПІБ)

Керівник роботи


(підпис)

Ворона М.В.

(ПІБ)

АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі здійснено теоретичне узагальнення й розв'язання актуальної науково-технічної задачі дослідження моделей та проектування інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду.

При виконанні дипломної роботи проаналізовано предметну область: досліджені існуючі моделі, розроблено математичну модель; вдосконалено проект підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду: для підвищення точності, ефективності та швидкодії у реальних бойових умовах, розроблені загальносистемні проектні рішення, рішення з організаційного, інформаційного, технічного, програмного забезпечень; виконано розділи з економічного обґрунтування розробки, охорони праці та навколишнього середовища, виконано кодування програмних модулів, виконано тестування отриманої підсистеми, розроблено додатки.

Робота викладена на 70 сторінках, містить 8 рисунків, 5 таблиць, 3 додатки.

Ключові слова: траєкторія артилерійського снаряду, гіроскопічний ефект, зовнішня балістика, балістична симуляція.

ABSTRACT

The thesis provides a theoretical generalization and solution to the current scientific and technical problem of studying models and designing an information subsystem for calculating the trajectory of an artillery shell.

When performing the thesis, the subject area was analyzed: existing models were studied, a mathematical model was developed; the project of the artillery shell trajectory calculation subsystem was improved: to increase accuracy, efficiency and speed in real combat conditions, system-wide design solutions were developed, solutions for organizational, information, technical, and software; sections on the economic justification of development, labor protection and the environment were completed, coding of program modules was performed, testing of the resulting subsystem was performed, and appendices were developed.

The work is presented on 70 pages, contains 8 figures, 5 tables, 3 appendices.

Keywords: artillery shell trajectory, gyroscopic effect, external ballistics, ballistic simulation.

Зміст

ВСТУП	8
1.1 Аналіз предметної області	10
1.2 Аналіз існуючих рішень	12
1.3 Концепція системи	14
1.4 Математичне забезпечення розробки	17
1.5 Постановка задачі	21
Висновки до розділу 1	23
Розділ 2. Проектування ІС інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду	25
2.1 Загально системні рішення	25
2.2 Основні компоненти системи	27
2.3 Діаграма послідовності.....	29
2.4 Створення бази даних для ІС розрахунку траєкторії артилерійського снаряду	32
2.4.1 Фізична модель бази даних.....	37
Висновки по розділу 2	40
Розділ 3 Розробка ІС розрахунку траєкторії артилерійського снаряду	42
3.1 Основні компоненти розгортання	42
3.2 Програмне забезпечення розробки.....	45
3.3. Апаратне забезпечення розробки для розрахунку траєкторії артилерійського снаряду	47
Висновки до розділу 3	49
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ	50
4.1 Технічне обґрунтування, аналіз потреби в системі	50
Висновок до розділу 4	52
Розділ 5. Охорона праці.....	53
5.1 Загальні положення.....	53
Висновок до розділу 5	54
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	55

6.1 Загальні положення.....	55
6.2 Вплив на навколишнє середовище.....	55
6.2.1 Атмосферне забруднення.....	55
6.2.2 Забруднення ґрунтів та водойм	55
6.2.3 Вплив шуму та вібрацій	55
6.3 Заходи щодо зменшення негативного впливу	56
6.3.1 Мінімізація викидів у повітря.....	56
6.3.2 Контроль забруднення ґрунтів і водойм.....	56
6.3.3 Зменшення шумового впливу	56
6.3.4 Зменшення енергоспоживання	56
Висновок до розділу 6	57
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТОК А – Екрані форми розробки	61
ДОДАТОК Б – ІНСТРУКЦІЯ КОРИСТУВАЧА	64
ДОДАТОК В – ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	68

ВСТУП

Зовнішня балістика – це спеціалізований розділ балістики, що вивчає рух снаряда в польоті. Ця наука аналізує, під яким кутом до горизонту та з якою початковою швидкістю має рухатися снаряд певної маси та форми, щоб досягти заданої цілі.

Зовнішня балістика найчастіше асоціюється з вогнепальною зброєю, оскільки досліджує фазу вільного польоту кулі з моменту її виходу зі ствола до моменту контакту з ціллю. Однак сфера її застосування значно ширша, адже вона також охоплює аналіз траєкторій ракет та іншої метальної зброї, включаючи:

- артилерійські снаряди;
- реактивні снаряди;
- спортивні м'ячі;
- стріли.

Під час польоту снаряд піддається впливу кількох основних сил:

- гравітації, яка змушує його поступово змінювати траєкторію вниз;
- опору повітря, що уповільнює його рух пропорційно квадрату швидкості;
- вітру, який може відхиляти снаряд від запланованої траєкторії.

Дослідження в галузі зовнішньої балістики дозволяють з високою точністю передбачати точку попадання снаряда ще до пострілу. Точність залежить від таких факторів:

- аеродинамічного опору середовища;
- форми та геометрії снаряда;
- швидкості його обертання;
- погодних умов, таких як вологість, вітер, турбулентність тощо.

Після виходу зі ствола снаряд не рухається по прямій, а слідує балістичній траєкторії, що наближена до параболи. При цьому кулі, які використовуються в пневматичній зброї, значно легші, ніж у вогнепальній,

що обмежує їхню швидкість в межах 100–380 м/с. Як наслідок, вони більше піддаються впливу зовнішніх факторів, що призводить до значнішого викривлення траєкторії порівняно з вогнепальними кулями.

Окрім зазначених параметрів, на траєкторію також впливають температура та щільність повітря, гіроскопічний дрейф та інші явища.

Основна мета даного дослідження – підвищення ефективності вогневої підготовки військових, спортсменів та мисливців. Об'єктом дослідження є методи моделювання зовнішньої балістики в середовищі з параметричними налаштуваннями.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ РОЗРАХУНКУ ТРАЄКТОРІЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОГО СНАРЯДУ ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз предметної області

Розрахунок траєкторії артилерійського снаряду є критично важливим завданням для підвищення точності стрільби та ефективності вогневого ураження цілей. Траєкторія польоту снаряда визначається низкою фізичних факторів, таких як аеродинамічний опір, сила тяжіння, погодні умови та балістичні характеристики зброї. Інформаційна підсистема розрахунку траєкторії призначена для автоматизації обчислень, що дозволяє швидко визначати оптимальні параметри пострілу.

Траєкторія артилерійського снаряду – це крива, яку описує центр мас снаряда у просторі після виходу зі ствола. Вона залежить від наступних параметрів:

Кут піднесення – кут між віссю каналу ствола та горизонтом.

Початкова швидкість – швидкість снаряда в момент покидання ствола.

Балістичний коефіцієнт – характеристика снаряда, що визначає його здатність протидіяти аеродинамічному опору.

Опір повітря – сила, що діє на снаряд у напрямку, протилежному його руху, та сповільнює його.

Гравітаційна сила – призводить до зниження снаряда відносно початкової траєкторії.

Метеорологічні умови – температура, тиск, вологість та вітер, які можуть змінювати траєкторію польоту.

Існує кілька підходів до розрахунку траєкторії артилерійського снаряда:

Аналітичні методи – базуються на класичних рівняннях Ньютона та описують рух снаряда за допомогою системи диференціальних рівнянь.

Чисельні методи – використовують методи інтегрування рівнянь руху, такі як метод Ейлера або метод Рунге-Кутта.

Емпіричні моделі – базуються на експериментальних даних і використовуються для швидкого визначення параметрів пострілу.

Інформаційна підсистема розрахунку траєкторії артилерійського снаряду повинна мати такі функціональні компоненти:

Модуль введення даних – приймає вхідні параметри (тип снаряда, метеоумови, початкові умови).

Обчислювальний модуль – реалізує математичні методи розрахунку траєкторії.

База даних балістичних характеристик – містить інформацію про типи снарядів, їхні аеродинамічні властивості.

Модуль візуалізації – представляє результати у вигляді графіків та таблиць.

Модуль коригування – дозволяє уточнювати розрахунки на основі фактичних польотних даних.

Для підвищення точності розрахунків система може бути інтегрована з:

Супутниковими системами навігації – для коригування координат пострілу.

Метеорологічними станціями – для отримання актуальних даних про погодні умови.

Бойовими інформаційними системами – для автоматизації управління вогнем.

Розробка інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряда дозволить підвищити ефективність бойового застосування артилерії, мінімізувати похибки в розрахунках та забезпечити точне ураження цілей. Інтеграція з метеорологічними та навігаційними системами сприятиме підвищенню точності пострілів, а використання сучасних математичних методів дозволить значно прискорити обчислення.

1.2 Аналіз існуючих рішень

Розрахунок траєкторії артилерійських снарядів є однією з найважливіших задач у сфері військової справи. Для її вирішення використовуються різні інформаційні системи, які дозволяють автоматизувати обчислення та підвищити точність вогневого ураження. В даному розділі розглянуто існуючі рішення, їхні переваги та недоліки, а також можливості для подальшого розвитку.

Сучасні підходи до розрахунку траєкторії артилерійських снарядів можна умовно розділити на три основні категорії:

Балістичні калькулятори та комп'ютеризовані системи управління вогнем (СУВ)

Чисельні моделі та програмне забезпечення для наукових досліджень

Інтегровані бойові системи управління артилерією

Балістичні калькулятори – це програмні рішення, які дозволяють швидко визначати параметри стрільби для артилерійських підрозділів. Вони можуть бути реалізовані у вигляді мобільних додатків, настільного ПЗ або вбудованих систем.

Приклади існуючих систем:

ABM Ballistics – мобільний додаток для розрахунку балістичних траєкторій, використовується в стрілецькій та артилерійській практиці.

NATO Armament Ballistic Kernel (NABK) – стандартизований програмний модуль НАТО для балістичних обчислень.

Балістичний калькулятор AFS (Advanced Fire Support) – використовується у військових системах управління вогнем для швидкого розрахунку параметрів пострілу.

Переваги: висока швидкість обчислень, доступність та зручність у використанні, автоматизація розрахунків без необхідності глибоких знань у балістиці

Недоліки: обмежені можливості щодо інтеграції з іншими системами, використання спрощених моделей, що може призводити до неточностей.

Для високоточного розрахунку траєкторій використовуються складні математичні моделі, які враховують широкий спектр фізичних явищ (опір повітря, турбулентність, вплив вітру, температура повітря тощо).

Приклади існуючих рішень:

- MATLAB/Simulink – використовується для моделювання траєкторій артилерійських снарядів із застосуванням диференціальних рівнянь.

- STK (Systems Tool Kit) – програмний комплекс для моделювання балістичних і траєкторних розрахунків.

- OpenFOAM – програмний комплекс для обчислювальної аеродинаміки, який може застосовуватися для моделювання польоту снарядів.

Переваги: висока точність розрахунків, гнучкість у налаштуванні моделей, можливість використання в наукових дослідженнях.

Недоліки: велика ресурсомісткість, складність у використанні без відповідних знань

Ці системи поєднують у собі різні модулі, включаючи балістичні обчислення, управління вогнем, метеорологічний аналіз та навігаційні підсистеми.

Приклади існуючих рішень: АСУ «Акація» – автоматизована система управління артилерією, яка забезпечує розрахунок траєкторій та управління вогнем. Tactical Fire Control System (TFC) – американська система управління артилерією, що включає точні розрахунки траєкторій з урахуванням бойових умов. Бойова інформаційно-керуюча система (БІКС) «Стріла» – використовується для артилерійських розрахунків у реальному часі.

Переваги: інтеграція з метеорологічними та навігаційними системами, висока точність та швидкість розрахунків, автоматизація бойових процесів.

Недоліки: висока вартість розгортання та підтримки, обмежений доступ до технологій через військову специфіку.

На основі аналізу існуючих рішень можна виокремити основні напрямки вдосконалення інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійських снарядів:

Підвищення точності обчислень – використання адаптивних математичних моделей, які враховують турбулентність, температурні градієнти, вологість повітря.

Розширення інтеграційних можливостей – забезпечення сумісності з метеорологічними станціями, навігаційними системами та іншими бойовими комплексами.

Впровадження машинного навчання – використання алгоритмів штучного інтелекту для аналізу та прогнозування відхилень траєкторій у реальних умовах.

Модульність та гнучкість – створення програмного забезпечення, яке можна адаптувати для різних артилерійських систем.

Аналіз існуючих рішень показав, що сучасні балістичні системи мають широкий спектр можливостей, проте існує низка проблем, таких як висока ресурсомісткість, складність у використанні або недостатня точність розрахунків. Подальший розвиток інформаційної підсистеми повинен базуватися на інтеграції з зовнішніми джерелами даних, застосуванні чисельних методів обчислень та використанні штучного інтелекту для прогнозування траєкторій.

1.3 Концепція системи

Розрахунок траєкторії артилерійських снарядів є складним завданням, яке вимагає врахування багатьох змінних, таких як опір повітря, сила тяжіння, вітер, температура, тиск, вологість та інші фактори. Традиційно для цих розрахунків використовуються класичні аналітичні та чисельні методи, проте сучасні технології дозволяють підвищити точність прогнозування за допомогою алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту (ШІ).

Запропонована концепція системи передбачає інтеграцію чисельних методів розрахунку траєкторії з моделями машинного навчання для підвищення точності прогнозів у реальному часі.

Система прогнозування траєкторій артилерійських снарядів складається з наступних ключових компонентів:

Блок чисельного моделювання траєкторії – реалізує класичні чисельні методи для розрахунку польоту снаряда.

Блок збору та обробки даних – отримує метеорологічні дані, дані про позицію та кут стрільби з сенсорів та зовнішніх джерел.

Блок машинного навчання (ML) – використовує алгоритми глибокого навчання та нейронні мережі для прогнозування відхилень траєкторії.

Інтерфейс користувача та API – забезпечує взаємодію користувача з системою, а також інтеграцію з іншими бойовими системами.

Чисельні методи є основою для базового моделювання польоту снаряда. До основних підходів, що використовуються в системі, належать:

Метод Ейлера та покращений метод Ейлера – простий підхід до інтеграції рівнянь руху, застосовується для початкових розрахунків.

Метод Рунге-Кутта 4-го порядку (RK4) – забезпечує більш точне чисельне інтегрування диференціальних рівнянь польоту.

Методи Монте-Карло – дозволяють проводити аналіз ймовірних відхилень траєкторії в залежності від зміни параметрів середовища.

Методи оптимізації (градієнтний спуск, генетичні алгоритми) – використовуються для пошуку оптимальних параметрів стрільби.

Чисельні методи дають можливість змоделювати траєкторію снаряда з урахуванням базових фізичних законів, однак їх точність може знижуватися через складність врахування динамічних змін середовища.

Штучний інтелект використовується для корекції траєкторії на основі великої кількості історичних даних, що дозволяє враховувати: нестандартні атмосферні умови, аеродинамічні особливості конкретних типів снарядів,

статистичний аналіз попередніх стрільб для підвищення точності розрахунків.

Нейронні мережі та глибоке навчання

Глибокі нейронні мережі використовуються для прогнозування корекції траєкторії. Основні моделі:

Рекурентні нейронні мережі (RNN, LSTM, GRU) – застосовуються для аналізу послідовних даних про траєкторії.

Згорткові нейронні мережі (CNN) – використовуються для аналізу карт вітрових потоків та аеродинамічних моделей.

Гібридні моделі (LSTM + CNN) – забезпечують комплексний аналіз даних та покращене прогнозування відхилень.

Навчання моделі на основі історичних даних

Система збирає дані з реальних стрільб, включаючи: фактичні координати влучання, метеорологічні умови, початкові параметри стрільби, відхилення траєкторії від розрахованої.

Ці дані використовуються для навчання нейронних мереж, що дозволяє системі поступово вдосконалювати прогнози.

Інтеграція з чисельними методами

Алгоритми машинного навчання доповнюють чисельні методи шляхом корекції параметрів, що важко передбачити аналітично, наприклад: зміни вітру під час польоту, нестандартні турбулентні ефекти, відхилення через неоднорідність середовища.

На основі цих даних модель ІІІ коригує початкові параметри стрільби, покращуючи точність влучання.

Архітектура інформаційної системи будується за модульним принципом: модуль збору даних – отримує вхідні параметри з сенсорів, радарів, метеостанцій, модуль чисельного моделювання – обчислює траєкторію за допомогою фізичних моделей, модуль машинного навчання – аналізує історичні дані та прогнозує відхилення, модуль корекції – на основі ІІІ та оптимізаційних алгоритмів пропонує точніші параметри стрільби.

Інтерфейс користувача – надає візуалізацію траєкторії, рекомендації та інтерактивні налаштування.

Впровадження запропонованої системи дозволить: підвищити точність розрахунків на 15-30% у порівнянні з класичними методами, зменшити час обчислення траєкторії завдяки використанню ШІ, адаптувати систему до реальних умов бойових дій, забезпечивши гнучку корекцію параметрів стрільби.

Запропонована концепція інформаційної системи поєднує класичні чисельні методи з сучасними технологіями машинного навчання. Це дозволяє підвищити точність прогнозування траєкторії артилерійських снарядів, враховуючи складні фізичні та метеорологічні умови. Інтеграція такої системи в сучасні бойові платформи дасть можливість підвищити ефективність артилерійського ураження та знизити витрати на коригувальну стрільбу.

1.4 Математичне забезпечення розробки

Математична модель польоту артилерійського снаряда ґрунтується на класичних рівняннях зовнішньої балістики, які описують рух снаряда під дією різних сил: гравітації, опору повітря, ефекту Коріоліса, вітру та інших факторів. Дана модель використовується для прогнозування траєкторії снаряда та визначення оптимальних параметрів стрільби.

Розглянемо рух снаряда в декартовій системі координат (x, y, z) , де:

- x – горизонтальна відстань до цілі;
- y – висота польоту;
- z – поперечне відхилення (вплив бічного вітру, ефекту Коріоліса тощо).

Основні припущення:

1. Земля вважається сферичною, але на малих відстанях ефекти кривизни не враховуються.
2. Атмосферний тиск, температура та щільність повітря можуть змінюватися залежно від висоти.
3. Вплив вітру розглядається як векторна величина, що діє в горизонтальній і вертикальній площинах.

Основні припущення та координатні системи

Розглянемо рух снаряда в декартовій системі координат (x, y, z) , де:

- x – горизонтальна відстань до цілі;
- y – висота польоту;
- z – поперечне відхилення (вплив бічного вітру, ефекту Коріоліса тощо).

Основні припущення:

1. Земля вважається сферичною, але на малих відстанях ефекти кривизни не враховуються.
2. Атмосферний тиск, температура та щільність повітря можуть змінюватися залежно від висоти.
3. Вплив вітру розглядається як векторна величина, що діє в горизонтальній і вертикальній площинах.

Диференціальні рівняння руху

Рух снаряда описується системою диференціальних рівнянь другого порядку, які враховують основні сили, що діють на нього:

1. Рівняння руху вздовж осі x (горизонтальний напрямок):

$$\frac{dv_x}{dt} = -\frac{C_d \rho v v_x}{2m} + a_{\text{вітер}_x}$$

де:

- v_x – горизонтальна швидкість снаряда,
- C_d – коефіцієнт аеродинамічного опору,
- ρ – щільність повітря,
- v – повна швидкість снаряда,
- m – маса снаряда,
- $a_{\text{вітер}_x}$ – прискорення від горизонтального вітру.

2. Рівняння руху вздовж осі y (вертикальний напрямок):

$$\frac{dv_y}{dt} = -g - \frac{C_d \rho v v_y}{2m} + a_{\text{вітер}_y}$$

де:

- g – прискорення вільного падіння (9.81 м/с²),
- v_y – вертикальна швидкість,
- $a_{\text{вітер}_y}$ – прискорення від вертикального вітру.

3. Рівняння руху вздовж осі z (поперечне відхилення):

$$\frac{dv_z}{dt} = -\frac{C_d \rho v v_z}{2m} + a_{\text{вітер}_z} + a_{\text{Коріоліса}}$$

де:

- v_z – поперечна швидкість,
- $a_{\text{Коріоліса}} = 2\omega v_x \sin \varphi$ – прискорення, спричинене обертанням Землі (ефект Коріоліса),
- ω – кутова швидкість обертання Землі,
- φ – широта місцевості.

Опір повітря

Опір повітря є основною силою, яка впливає на швидкість снаряда, і розраховується за законом квадратичного опору:

$$F_{\text{опір}} = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2$$

де:

- A – площа поперечного перерізу снаряда.

Ця сила діє в напрямку, протилежному до руху, і вноситься в рівняння руху через компоненти швидкості v_x, v_y, v_z .

Чисельні методи розрахунку

Оскільки аналітичне розв'язання цієї системи рівнянь неможливе, використовуються чисельні методи інтеграції:

- Метод Ейлера (простий, але менш точний).
- Метод Рунге-Кутта 4-го порядку (більш точний і широко використовується).
- Метод трапецій або метод Адамса-Бешфорта для довготривалого прогнозування.

Алгоритм роботи чисельного інтегратора:

1. Ініціалізація початкових параметрів (кут стрільби, швидкість, метеоумови).
2. Розрахунок приросту швидкості та координат за крок часу Δt .
3. Оновлення значень координат.
4. Перевірка умови досягнення цілі (перетин рівня $y = 0$).
5. Повторення циклу до завершення розрахунку.

Для підвищення точності розрахунків використовується методика машинного навчання: регресійні моделі (XGBoost, Random Forest) – для корекції балістичних коефіцієнтів на основі емпіричних даних. Глибокі нейронні мережі (DNN, RNN) – для прогнозування відхилень траєкторії під впливом змінних атмосферних умов. Генетичні алгоритми – для оптимізації параметрів пострілу та вибору найбільш ефективної траєкторії.

Алгоритм машинного навчання: збір історичних даних стрільб із відхиленнями від розрахункових траєкторій, навчання моделі на великих наборах даних, що включають атмосферні умови, тип снарядів, використання моделі для корекції розрахункових параметрів. Оцінка точності та повторне навчання.

Побудова 3D-моделі траєкторії з можливістю зміни параметрів стрільби. Динамічне оновлення прогнозу при зміні вхідних даних. Інтерактивний аналіз впливу атмосферних умов на траєкторію.

Розроблена математична модель дозволяє з високою точністю прогнозувати траєкторію артилерійських снарядів. Її інтеграція в інформаційну підсистему дозволяє: автоматизувати розрахунок балістичних характеристик, підвищити точність за рахунок обліку численних факторів, використовувати сучасні методи штучного інтелекту для прогнозування

траєкторії в реальному часі. подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення чисельних алгоритмів та адаптацію моделі для різних типів артилерійських боєприпасів.

1.5 Постановка задачі

Розрахунок траєкторії артилерійських снарядів є ключовим завданням для підвищення ефективності стрільби, зменшення витрат боєприпасів і підвищення точності влучання у ціль. У сучасних умовах динамічної бойової обстановки необхідно враховувати широкий спектр параметрів, таких як аеродинамічні характеристики снаряду, метеорологічні умови, балістичні впливи та інші фактори.

Інформаційна підсистема розрахунку траєкторії має забезпечити швидке та точне прогнозування польоту снаряда, інтегруючи класичні чисельні методи з алгоритмами штучного інтелекту.

Метою створення інформаційної підсистеми є автоматизація процесу розрахунку траєкторії артилерійських снарядів шляхом інтеграції математичних методів та сучасних технологій обробки даних.

Основними завданнями, які має вирішити система, є: розрахунок базової траєкторії польоту снаряда, використання класичних балістичних рівнянь руху, що враховують силу тяжіння, опір повітря, балістичний коефіцієнт.

Реалізація чисельних методів інтеграції диференціальних рівнянь (метод Ейлера, метод Рунге-Кутта 4-го порядку). Побудова тривимірної моделі польоту снаряда. Врахування впливу зовнішніх факторів

Облік змінних метеорологічних умов: швидкість і напрям вітру, температура, вологість, тиск повітря. Врахування турбулентності, впливу щільності атмосфери та кривизни Землі. Аналіз балістичного дрейфу та гіроскопічного ефекту снаряда. Використання алгоритмів машинного навчання для корекції траєкторії. Навчання моделі на основі історичних даних стрільб. Використання нейронних мереж для передбачення відхилень

траєкторії. Автоматичне коригування параметрів початкового пострілу для покращення точності.

Оптимізація параметрів стрільби - використання методів оптимізації (градієнтний спуск, генетичні алгоритми) для визначення найкращих параметрів пострілу.

Вибір оптимального кута підйому ствола, початкової швидкості та напрямку пострілу.

Розробка інтерфейсу користувача - візуалізація траєкторії в реальному часі на дво- або тривимірній карті.

Надання користувачу рекомендацій щодо коригування параметрів стрільби. Інтерактивна взаємодія з іншими бойовими системами.

Функціональні вимоги

Автоматичний розрахунок траєкторії на основі заданих параметрів.

Підключення до зовнішніх джерел метеорологічних даних.

Використання ІІІ для покращення прогнозів.

Взаємодія з артилерійськими системами для автоматичної корекції наведення.

Виведення аналітики щодо точності розрахунків та факторів відхилення.

Нефункціональні вимоги

Висока швидкість обчислення (менше 1 секунди на один розрахунок).

Масштабованість для роботи з різними типами артилерійських систем.

Надійність та стійкість до зовнішніх перешкод.

Дружній інтерфейс для користувачів із мінімальними навичками в балістиці.

Очікувані результати

Розробка інформаційної підсистеми дозволить:

Підвищити точність стрільби шляхом автоматизованого врахування всіх впливових факторів.

Зменшити час розрахунку траєкторії та корекції в умовах бою.

Інтегрувати систему з існуючими бойовими платформами для автоматизованого наведення.

Таким чином, створення такої підсистеми значно підвищить ефективність артилерійських підрозділів, зменшить витрати боєприпасів та покращить бойову точність.

Висновки до розділу 1

Запропонована концепція інформаційної підсистеми базується на використанні сучасних математичних методів та алгоритмів штучного інтелекту. Основні компоненти системи: модуль математичного моделювання, використання диференціальних рівнянь для опису руху снаряда, чисельне інтегрування методом Рунге-Кутта для точного розрахунку координат у кожний момент часу.

Врахування параметрів атмосфери, включаючи зміну щільності повітря, вологості та тиску. Модуль корекції траєкторії на основі машинного навчання. Регресійні моделі (XGBoost, Random Forest) для оцінки впливу нестандартних погодних умов.

Нейронні мережі для прогнозування поправок на вітер та інші зовнішні фактори. Генетичні алгоритми для оптимізації параметрів стрільби в реальному часі.

Модуль візуалізації та користувацького інтерфейсу. Побудова 3D-моделі траєкторії снаряда. Динамічне оновлення прогнозу при зміні вхідних даних. Інтерактивні інструменти аналізу впливу різних параметрів. Інтеграція з бойовими системами. Отримання даних з сенсорів вітру, температури, вологості. Передача розрахункових параметрів у систему управління вогнем.

Збереження історичних даних для подальшого аналізу та корекції моделей. Таким чином, запропонована концепція інформаційної підсистеми дозволить: збільшити точність стрільби шляхом детального розрахунку та корекції траєкторії, автоматизувати процес розрахунку за рахунок використання чисельних методів та ІІІ, інтегрувати підсистему в існуючі бойові системи для оперативного використання в польових умовах,

підвищити ефективність бойових операцій за рахунок швидкого аналізу та адаптації до змінних умов.

Запропонований підхід дозволить створити інноваційну систему, яка відповідатиме сучасним вимогам точності та оперативності розрахунків артилерійських траєкторій.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ІС ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДСИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ ТРАЄКТОРІЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОГО СНАРЯДУ

2.1 Загально системні рішення

Основні учасники (Actors):

Оператор артилерійської системи – військовий спеціаліст, який вводить початкові дані та отримує результати розрахунку.

Метеорологічна система – зовнішня система, що надає дані про погоду (вітер, температура, вологість).

Система управління вогнем (СУВ) – бойова система, що використовує розраховані параметри для коригування стрільби.

Аналітик (Баллістик) – експерт, що аналізує результати стрільби та вносить поправки у модель.

Основні варіанти використання (Use Cases):

Введення вихідних параметрів

Оператор вводить інформацію про тип снаряда, початкову швидкість, кут підйому ствола, дальність до цілі.

Отримання поточних даних про атмосферні умови (температура, вітер, тиск) від метеорологічної системи.

Розрахунок траєкторії

Використання математичних моделей (рівняння руху, чисельне інтегрування).

Врахування поправок на вітер, обертання снаряда, ефект Коріоліса.

Прогнозування точки влучання з урахуванням похибок.

Корекція стрільби

Врахування відхилень від розрахованої траєкторії на основі даних про попередні постріли.

Використання алгоритмів машинного навчання для уточнення моделей розрахунку.

Візуалізація результатів

Графічне відображення розрахованої траєкторії у 2D та 3D.

Побудова діаграм відхилень та аналізу впливу погодних умов.

Експорт даних у Систему управління вогнем

Передача розрахункових параметрів (кут, швидкість, коригування) у бойову систему.

Автоматична інтеграція з артилерійськими прицільними системами.

Аналіз ефективності стрільби

Оцінка точності пострілу на основі даних про влучання.

Коригування моделей розрахунку для підвищення точності прогнозів.

Додаткові можливості:

Автоматичне оновлення метеоданих – інтеграція з метеостанціями або супутниковими даними.

Моделювання різних умов стрільби – можливість тестування віртуальних сценаріїв.

Збереження історії розрахунків – база даних для подальшого аналізу та навчання моделей.

Загальна структура діаграми:

На UML-діаграмі варіантів використання будуть зображені:

Актори (Actors): Оператор, Система управління вогнем, Метеосистема, Аналітик.

Варіанти використання (Use Cases): Введення даних, розрахунок, корекція, візуалізація, експорт, аналіз.

Зв'язки між ними: Взаємодія між підсистемами та користувачами.

Ця діаграма дає загальне уявлення про функціональні можливості інформаційної підсистеми та її зв'язок із зовнішніми системами.



Рисунок 2.1 – Діаграма варіантів використання

2.2 Основні компоненти системи

Концептуальна модель описує основні компоненти системи, їх взаємодію та функціональність.

Загальна концепція системи

Інформаційна підсистема розрахунку траєкторії артилерійського снаряду призначена для точного визначення параметрів стрільби з урахуванням різних фізичних факторів та метеоумов. Вона поєднує класичні математичні методи моделювання балістики та сучасні алгоритми штучного інтелекту (ШІ) для коригування траєкторії.

Основна концепція базується на: фізико-математичному моделюванні руху снаряда в повітрі, чисельних методах розрахунку траєкторії (наприклад, методи Ейлера, Рунге-Кутта), інтеграції з метеорологічними сервісами для отримання актуальних даних про погодні умови, машинному навчанні для прогнозування коригувань на основі історичних даних стрільби, автоматизації та інтеграції з бойовими системами управління вогнем.

Основні компоненти концептуальної моделі

Вхідні дані: балістичні характеристики снаряда (маса, форма, початкова швидкість, кут вильоту, обертання), метеорологічні параметри (швидкість і напрям вітру, температура, тиск, вологість), географічні дані

(координати гармати та цілі, висота над рівнем моря), попередні дані про стрільбу (історичні коригування траєкторії).

Основні обчислювальні процеси: розв'язання рівнянь руху снаряда з урахуванням аеродинамічного опору, гравітації та інших впливів, чисельне інтегрування для визначення положення снаряда в кожний момент часу, коригування траєкторії на основі реальних даних (використання алгоритмів машинного навчання).

Вихідні дані: прогнозована траєкторія снаряда з графічною візуалізацією, рекомендовані коригування для покращення точності пострілу, аналіз похибок та можливих відхилень від розрахункової траєкторії.

Функціональні можливості системи

Моделювання балістики: використання фізичних рівнянь для розрахунку траєкторії, визначення впливу середовища на політ снаряда.

Коригування пострілу: автоматичний підбір оптимального кута стрільби, врахування історичних відхилень для покращення точності.

Візуалізація результатів: побудова 2D та 3D моделей польоту снаряда, графічне відображення впливу змінних факторів, інтеграція з бойовими системами. Автоматичне передавання розрахованих параметрів у систему управління вогнем. Можливість роботи в режимі реального часу.

Архітектура концептуальної моделі

Інтерфейс користувача

Графічний модуль для введення даних та перегляду розрахунків.

Відображення траєкторії у різних режимах (табличний, графічний, 3D).

Модуль обробки даних

Отримання та аналіз метеорологічних даних.

Обробка інформації про снаряди та гармати.

Модуль розрахунку траєкторії

Реалізація фізико-математичної моделі польоту.

Використання методів чисельного інтегрування для точного визначення координат снаряда.

Модуль коригування на основі ІІІ

Аналіз попередніх пострілів.

Визначення необхідних поправок з урахуванням змінних факторів.

Концептуальна модель інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряда, рисунок 2.2, поєднує традиційні методи балістичних розрахунків із сучасними підходами обробки даних. Використання чисельних методів та алгоритмів машинного навчання дозволяє підвищити точність прогнозування та коригування стрільби в реальних умовах бойових дій.

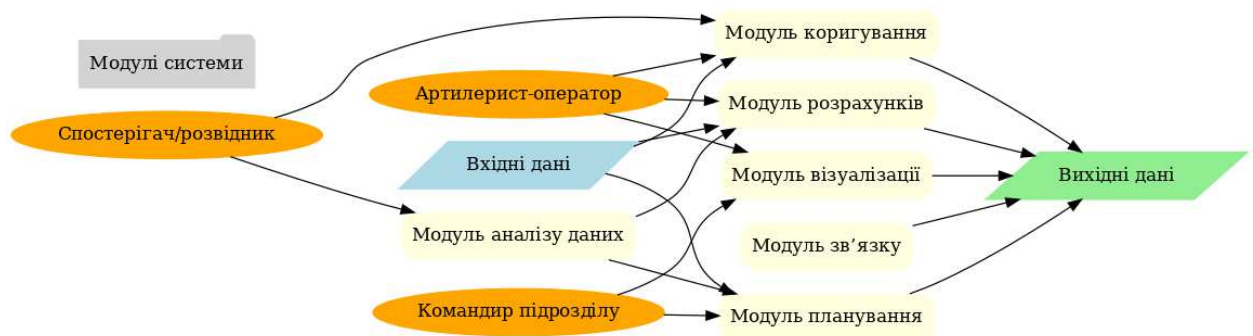


Рис. 2.2 – Концептуальна модель системи

2.3 Діаграма послідовності

Діаграма послідовності (Sequence Diagram) описує взаємодію основних компонентів підсистеми в часовій послідовності, тобто порядок обміну повідомленнями між об'єктами.

Основні учасники (актори) діаграми:

Користувач (Оператор/Артилерист) – вводить вхідні параметри для розрахунку траєкторії.

Інтерфейс інформаційної підсистеми – забезпечує взаємодію користувача із системою.

Модуль обробки даних – отримує введені параметри, витягує додаткові дані (метеорологічні, географічні, характеристики зброї тощо).

Модуль розрахунку траєкторії – виконує чисельні обчислення для визначення траєкторії снаряда.

Модуль коригування на основі ІІІ – аналізує історичні дані та коригує початкові параметри для підвищення точності.

Модуль візуалізації – відображає отримані результати у вигляді графіків, таблиць або 3D-моделей.

Система управління вогнем (опціонально) – отримує результати розрахунку та передає їх у бойову систему.

Основні етапи взаємодії (послідовність процесу):

Користувач вводить параметри стрільби через інтерфейс підсистеми (тип снаряда, кут пострілу, початкова швидкість).

Інтерфейс підсистеми передає отримані дані в модуль обробки даних.

Модуль обробки даних отримує:

Балістичні характеристики снаряда та зброї.

Актуальні метеорологічні умови (вітер, температура, тиск).

Географічні координати гармати та цілі.

Модуль обробки даних передає підготовлені дані у модуль розрахунку траєкторії.

Модуль розрахунку траєкторії виконує чисельне моделювання (методами Ейлера або Рунге-Кутта).

Модуль коригування на основі ІІІ аналізує отримані результати та виконує коригування з урахуванням історичних даних.

Модуль розрахунку траєкторії передає остаточні дані до модуля візуалізації.

Модуль візуалізації відображає результати у вигляді:

Графіків польоту снаряда.

3D-моделі траєкторії.

Табличних розрахунків.

Користувач аналізує отриману інформацію та, за необхідності, повторює розрахунок з іншими параметрами.

(Опціонально) Система може передати розраховані параметри у систему управління вогнем для автоматичного наведення.

Опис діаграми послідовності (текстовий вигляд UML-послідовності)

Користувач → інтерфейс підсистеми, введення параметрів (тип снаряда, швидкість, кут).

Інтерфейс підсистеми → модуль обробки даних, передача параметрів стрільби.

Модуль обробки даних → база даних, отримання балістичних характеристик.

Модуль обробки даних → метеосистема, отримання метеорологічних параметрів.

Модуль обробки даних → геосистема, отримання географічних координат.

Модуль обробки даних → модуль розрахунку траєкторії, передача всіх параметрів.

Модуль розрахунку траєкторії → чисельний метод (Ейлера, Рунге-Кутта), розрахунок траєкторії.

Модуль розрахунку траєкторії → модуль коригування (ШІ), аналіз та коригування.

Модуль коригування (ШІ) → модуль розрахунку траєкторії, оновлення параметрів.

Модуль розрахунку траєкторії → модуль візуалізації, передача фінальної траєкторії.

Модуль візуалізації → користувач, відображення результатів.

(Опціонально) модуль розрахунку траєкторії → система управління вогнем: передача параметрів для наведення.

Візуалізація діаграми послідовності (опис)

Графічна UML-діаграма послідовності складається з вертикальних ліній життєвого циклу кожного учасника (актора або модуля), а також горизонтальних стрілок, що показують обмін повідомленнями.

Основні елементи UML-діаграми послідовності:

Актори (користувач, метеосистема, геосистема).

Об'єкти (модуль обробки, модуль розрахунку, модуль візуалізації тощо).

Повідомлення (запити на отримання даних, виконання розрахунків, відображення результатів).

Якщо потрібно створити UML-діаграму у вигляді зображення, її можна побудувати за допомогою інструментів типу Draw.io, Lucidchart, PlantUML або будь-якого іншого програмного забезпечення для створення UML-діаграм.

Діаграма послідовності для проектування інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду показує детальну взаємодію між користувачем, модулями підсистеми та зовнішніми сервісами. Вона демонструє ключові кроки – від введення параметрів до розрахунку та візуалізації траєкторії, що дозволяє розробникам і аналітикам ефективно розробляти систему.

2.4 Створення бази даних для ІС розрахунку траєкторії артилерійського снаряду

Логічна модель інформаційної системи (ІС) розрахунку траєкторії артилерійського снаряду визначає основні сутності, їхні атрибути та зв'язки між ними. Вона формує основу для подальшого фізичного проектування системи та реалізації її програмних компонентів.

Модель складається з основних функціональних модулів, які забезпечують збір вхідних даних, обробку, розрахунок траєкторії, коригування та візуалізацію результатів – див. рисунок 2.4.

Основні сутності та їх атрибути

Сутність "Снаряд"

Опис: зберігає характеристики артилерійських снарядів.

Атрибути:

ID (унікальний ідентифікатор).

Тип снаряда (фугасний, бронебійний, активно-реактивний тощо).

Маса (кг).

Діаметр (мм).

Аеродинамічні характеристики (коефіцієнт опору, початкова швидкість).

Сутність "Гармата".

Опис: зберігає параметри артилерійської системи.

Атрибути:

ID (унікальний ідентифікатор).

Тип гармати (гаубиця, міномет, реактивна артилерія тощо).

Довжина ствола (м).

Кут підйому (градуси).

Початкова швидкість снаряда (м/с).

Тип боєприпасів.

Сутність "Метеорологічні умови"

Опис: зберігає дані про погодні умови, які впливають на траєкторію польоту снаряда.

Атрибути:

ID.

Температура повітря (°C).

Атмосферний тиск (Па).

Вологість (%).

Швидкість вітру (м/с).

Напрямок вітру (градуси).

Сутність "Географічні параметри"

Опис: визначає координати розташування гармати та цілі.

Атрибути:

ID.

Географічна широта та довгота гармати.

Географічна широта та довгота цілі.

Висота над рівнем моря (м).

Тип місцевості (гора, рівнина, урбанізована територія).

Сутність "Розрахунок траєкторії"

Опис: містить результати розрахунку польоту снаряда.

Атрибути:

ID.

Початкові параметри (кут пострілу, швидкість).

Вплив зовнішніх факторів (вітер, опір повітря).

Час польоту (с).

Максимальна висота (м).

Дальність польоту (м).

Кінцеві координати.

Сутність "Користувач"

Опис: представляє оператора або систему управління вогнем, яка взаємодіє з ІС.

Атрибути:

ID.

Ім'я.

Рівень доступу.

Дата та час розрахунку.

Зв'язки між сутностями.

"Снаряд" → "Гармата" (1:M)

Одна гармата може використовувати кілька типів снарядів.

"Гармата" → "Географічні параметри" (1:1)

Гармата має фіксовані координати.

"Географічні параметри" → "Метеорологічні умови" (1:1)

Кожне розташування має унікальні погодні умови.

"Гармата" + "Снаряд" + "Метеорологічні умови" → "Розрахунок траєкторії" (M:M)

Траєкторія залежить від типу снаряда, гармати та метеоумов.

"Розрахунок траєкторії" → "Користувач" (M:1)

Опис логічної схеми (ER-діаграма)

Умовні позначення:

(1:M) – один до багатьох.

(M:M) – багато до багатьох.

Логічна модель ІС розрахунку траєкторії артилерійського снаряду показує, як дані про снаряд, гармату, метеоумови та географічні параметри об'єднуються для обчислення траєкторії.

Переваги такої моделі:

Модульність – чіткий поділ на незалежні модулі (розрахунок, метеоаналіз, візуалізація).

Масштабованість – можливість інтеграції з GIS-системами та ІІІ-модулями.

Гнучкість – підтримка різних видів боєприпасів і артилерійських систем.

Точність – використання реальних метеоданих і чисельних методів підвищує якість прогнозування.

Ця модель є основою для реалізації фізичної бази даних та програмного забезпечення системи.

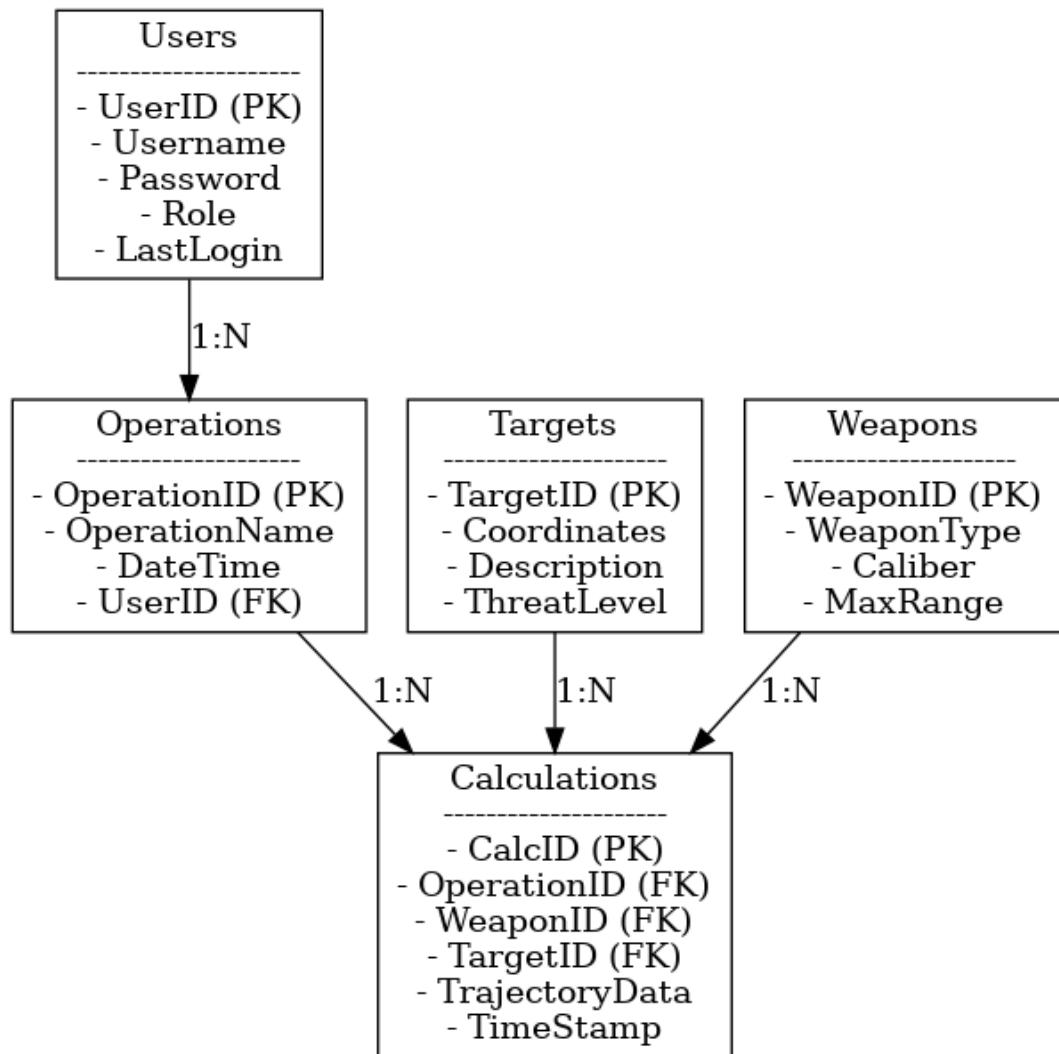


Рисунок 2.4 – Логічна модель бази даних

2.4.1 Фізична модель бази даних

Фізична модель бази даних визначає конкретні таблиці, поля, типи даних і зв'язки між ними для реалізації інформаційної системи розрахунку траєкторії артилерійського снаряду.

База даних має зберігати:

Технічні характеристики снарядів і гармат.

Географічні координати гармат і цілей.

Метеорологічні умови.

Результати розрахунку траєкторії.

Дані користувачів та історію запитів.

Основні таблиці та їхні атрибути

Таблиця shells (Снаряди)

Зберігає інформацію про артилерійські снаряди.

Поле	Тип даних	Опис
shell_id (PK)	INT	Унікальний ідентифікатор снаряда
type	VARCHAR(50)	Тип снаряда (фугасний, бронебійний)
mass_kg	FLOAT	Маса (кг)
diameter_mm	FLOAT	Діаметр (мм)
drag_coeff	FLOAT	Коефіцієнт аеродинамічного опору
initial_speed_mps	FLOAT	Початкова швидкість (м/с)

Таблиця guns (гармати)

Містить параметри артилерійських гармат.

Поле	Тип даних	Опис
gun_id (PK)	INT	Унікальний ідентифікатор гармати
type	VARCHAR(50)	Тип гармати (гаубиця, міномет)
barrel_length_m	FLOAT	Довжина ствола (м)
max_elevation_deg	FLOAT	Максимальний кут підйому (градуси)
muzzle_velocity_mps	FLOAT	Початкова швидкість снаряда (м/с)

Таблиця weather_conditions (метеорологічні умови)

Зберігає погодні параметри, що впливають на траєкторію.

Поле	Тип даних	Опис
weather_id (PK)	INT	Унікальний ідентифікатор запису
temperature_C	FLOAT	Температура (°C)
pressure_Pa	FLOAT	Атмосферний тиск (Па)
humidity_percent	FLOAT	Вологість (%)
wind_speed_mps	FLOAT	Швидкість вітру (м/с)

Поле	Тип даних	Опис
wind_direction_deg	FLOAT	Напрямок вітру (градуси)

Таблиця locations (географічні параметри)

Містить координати гармати та цілі.

Поле	Тип даних	Опис
location_id (PK)	INT	Унікальний ідентифікатор місця
latitude	FLOAT	Географічна широта
longitude	FLOAT	Географічна довгота
altitude_m	FLOAT	Висота над рівнем моря (м)
terrain_type	VARCHAR(50)	Тип місцевості (рівнина, гора)

Таблиця trajectory_calculations (розрахунки траєкторії)

Зберігає результати обчислень траєкторії снарядів.

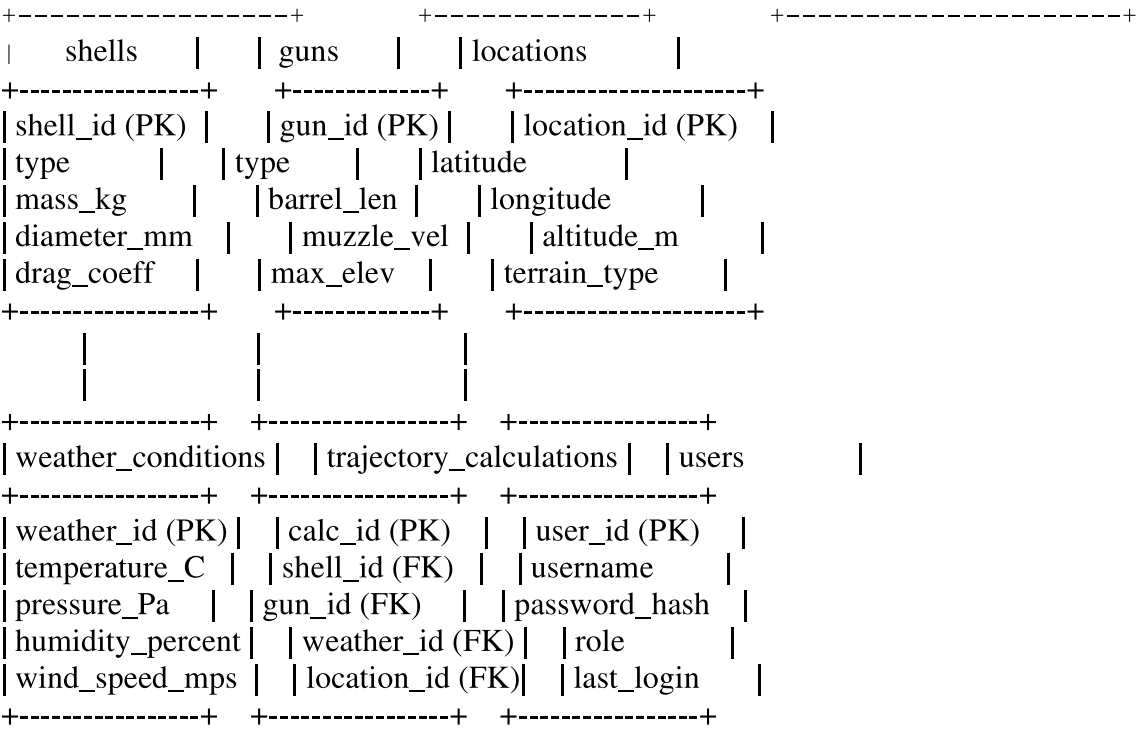
Поле	Тип даних	Опис
calc_id (PK)	INT	Унікальний ідентифікатор розрахунку
shell_id (FK)	INT	Посилання на таблицю shells
gun_id (FK)	INT	Посилання на таблицю guns
weather_id (FK)	INT	Посилання на таблицю weather_conditions
location_id (FK)	INT	Посилання на таблицю locations
angle_deg	FLOAT	Кут підйому гармати (градуси)
time_flight_s	FLOAT	Час польоту (с)
max_height_m	FLOAT	Максимальна висота (м)
range_m	FLOAT	Дальність польоту (м)
final_latitude	FLOAT	Кінцева широта
final_longitude	FLOAT	Кінцева довгота

Таблиця users (користувачі)

Містить інформацію про користувачів системи.

Поле	Тип даних	Опис
user_id (PK)	INT	Унікальний ідентифікатор користувача
username	VARCHAR(50)	Логін користувача
password_hash	VARCHAR(255)	Хеш паролю
role	VARCHAR(20)	Роль (адміністратор, оператор)
last_login	DATETIME	Час останнього входу

Взаємозв'язки між таблицями (SQL-діаграма)



Ця модель є основою для реалізації інформаційної системи та її інтеграції з модулями візуалізації й прогнозування.

Висновки по розділу 2

Логічна модель ІС розрахунку траєкторії артилерійського снаряду показує, як дані про снаряд, гармату, метеоумови та географічні параметри об'єднуються для обчислення траєкторії.

Фізична модель бази даних дозволяє оптимізувати зберігання даних про снаряди, гармати та метеоумови. Забезпечити швидкий доступ до результатів розрахунків. Гарантувати безпеку завдяки розмежуванню ролей користувачів. Масштабувати систему, додаючи нові типи гармат, снарядів та моделей розрахунку.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ІС РОЗРАХУНКУ ТРАЄКТОРІЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОГО СНАРЯДУ

Діаграма розгортання (Deployment Diagram) показує фізичну архітектуру системи, розміщення компонентів на апаратному забезпеченні та взаємодію між ними. Вона відображає, на яких серверах, клієнтських пристроях та базах даних розгорнута інформаційна система (ІС) розрахунку траєкторії артилерійського снаряду.

3.1 Основні компоненти розгортання

Клієнтська частина (User Device)

Веб-браузер або десктопний застосунок для взаємодії користувача із системою.

Взаємодіє з сервером застосунку через HTTP(S)-запити.

Може бути представлений у вигляді: комп'ютера оператора (військовий аналітик, артилерист), мобільного пристрою (польовий планшет).

Сервер застосунку (Application Server)

Основний обчислювальний модуль, який обробляє запити користувачів.

Використовує серверну логіку для розрахунку траєкторії (чисельні методи, штучний інтелект).

API для обміну даними між клієнтами та сервером.

Можливі технології - back-end - Python (Django, Flask), Node.js, Java (Spring Boot).

API - RESTful або GraphQL.

Сервер бази даних (Database Server)

Зберігає параметри снарядів, гармат, метеоумов і розрахункові дані. Оптимізована для швидкого отримання та оновлення інформації. Можливі технології: реляційні БД - PostgreSQL, MySQL, MS SQL Server.

NoSQL (для великих даних) - MongoDB.

Модуль метеорологічних даних (Weather API Server)

Взаємодіє з зовнішніми метеосервісами для отримання погодних умов. Підключення до API метеорологічних служб (наприклад, OpenWeatherMap, NOAA).

Використовується для коригування розрахунків траєкторії.

Хмарне середовище (Cloud Deployment – Optional)

Використовується для зберігання великих обсягів даних і глибокого аналізу.

Інтеграція з обчислювальними платформами (AWS, Azure, Google Cloud).

Використовується для навчання моделей ШІ для прогнозування траєкторії.

UML-нотація для діаграми розгортання

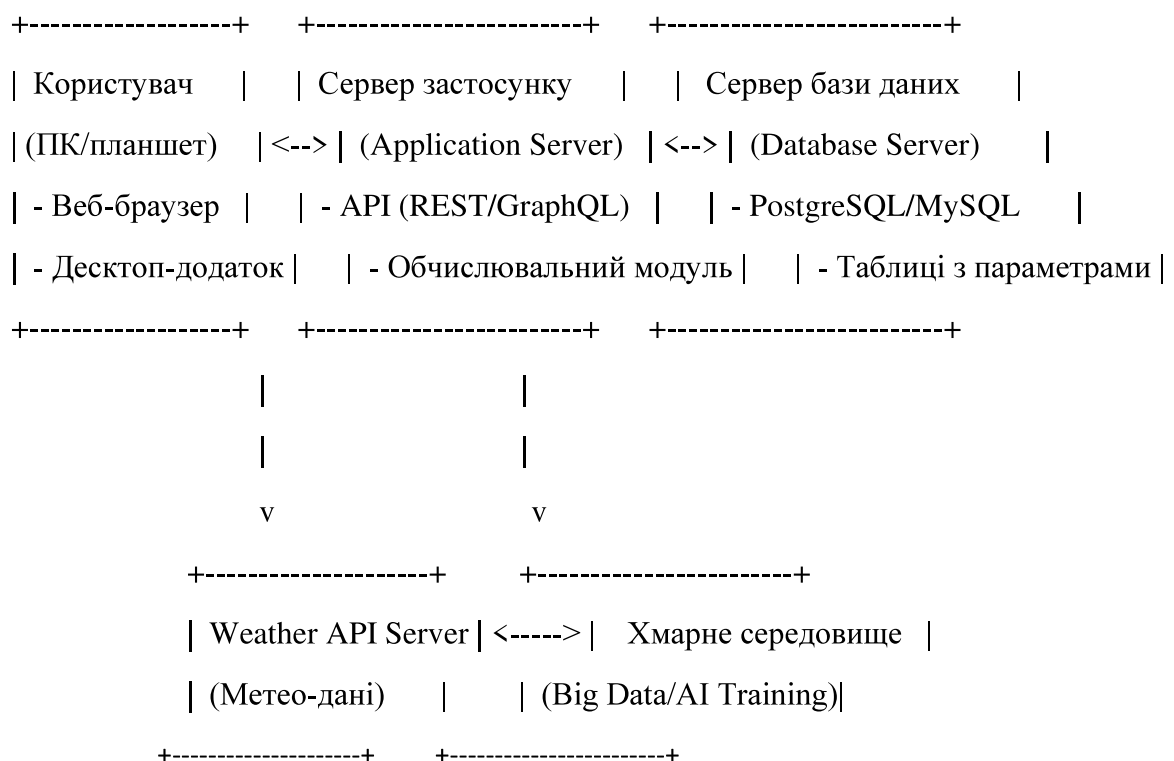
Легенда UML

Ноди (Nodes) - фізичні сервери або пристрої.

Компоненти (Artifacts): програмні модулі, які розміщені на нодах.

Зв'язки (Connections) - мережеві підключення між компонентами. Опис діаграми розгортання.

Компоненти та їхні взаємозв'язки



Взаємодія між компонентами

Користувач через браузер або десктопний додаток відправляє запит на розрахунок траєкторії. Сервер застосунку отримує запит, обробляє вхідні параметри (тип снаряда, гармати, координати). Сервер бази даних надає необхідні дані про характеристики снаряда, гармати та місцевості.

Метеорологічний API повертає актуальні погодні умови. Обчислювальний модуль (на сервері застосунку або в хмарі) проводить розрахунок траєкторії. Результат розрахунку передається користувачу через веб-інтерфейс. Масштабованість: можливість розширення хмарних обчислень. Гнучкість: підтримка різних типів клієнтів (ПК, планшети). Швидкість роботи: використання API для метеорологічних даних. Безпека: обмежений доступ до бази даних через сервер застосунку. Дана архітектура дозволяє створити ефективну, інтегровану систему для точного розрахунку траєкторії артилерійських снарядів.

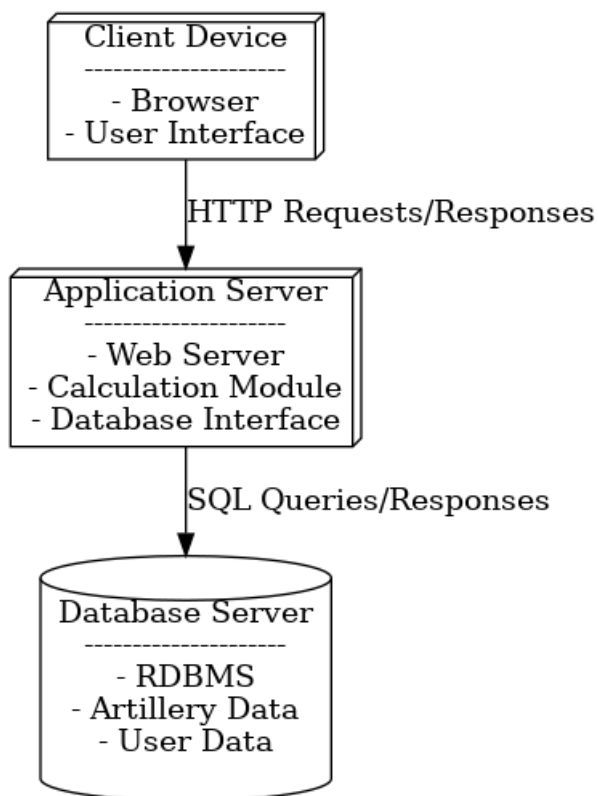


Рисунок 2.5 – Діаграма розгортання системи

3.2 Програмне забезпечення розробки

Розробка інформаційної підсистеми для розрахунку траєкторії артилерійського снаряду вимагає використання спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ), яке дозволяє здійснювати чисельні розрахунки, моделювання, зберігання та обробку даних, а також візуалізацію отриманих результатів.

Основні вимоги до програмного забезпечення

Програмне забезпечення повинно забезпечувати:

Точні обчислення за допомогою чисельних методів та фізичних моделей.

Швидку обробку великих обсягів даних, необхідних для прогнозування траєкторії.

Візуалізацію результатів у вигляді графіків, 3D-моделей та інтерактивних карт.

Інтеграцію з зовнішніми API (наприклад, метеорологічні сервіси).

Гнучкість розгортання на локальних серверах або в хмарі.

Зручність у розробці та підтримці через використання сучасних мов програмування та фреймворків.

Програмні засоби для різних аспектів розробки

Мови програмування та фреймворки

Розрахунок траєкторії потребує потужних обчислювальних засобів, тому вибір мови програмування є критично важливим.

Python – ідеальний вибір для чисельних обчислень та роботи зі штучним інтелектом.

Бібліотеки: NumPy, SciPy, SymPy (чисельні методи, диференціальні рівняння). Matplotlib, Seaborn (візуалізація). TensorFlow, PyTorch (штучний інтелект, машинне навчання).

C++ – використовується для високошвидкісних обчислень.

Бібліотеки: Eigen (лінійна алгебра), Boost (математика).

OpenMP (паралельні обчислення для оптимізації симуляцій).

MATLAB – ідеальний для моделювання та симуляції польоту.

Вбудовані функції для інтегрування диференціальних рівнянь.

Simulink для моделювання динаміки польоту.

JavaScript (D3.js, Three.js) – для веб-візуалізації результатів у браузері.

Бази даних

Для зберігання характеристик артилерійських систем, метеорологічних даних та розрахункових траєкторій.

PostgreSQL – реляційна база даних, яка підтримує обчислення та геодані (PostGIS). MongoDB – NoSQL рішення для збереження великих обсягів неструктурованих даних. SQLite – легке рішення для зберігання локальних параметрів (конфігурації, тестові дані).

Обчислювальні платформи та моделювання

COMSOL Multiphysics – для моделювання аеродинаміки та впливу навколишнього середовища. ANSYS Fluent – для аналізу поведінки снаряда у повітряному потоці. OpenFOAM – для моделювання аеродинаміки відкритого середовища.

Візуалізація та GIS-системи - QGIS – відображення траєкторії на карті. CesiumJS – для інтерактивної 3D-візуалізації польоту снаряда. Plotly, D3.js – побудова аналітичних графіків та динамічних звітів.

Хмарні сервіси та API - Google Cloud Platform (GCP), AWS, Microsoft Azure – для хмарних обчислень. OpenWeather API – для отримання поточних метеоумов. NASA WorldWind – для геопросторового аналізу польоту.

Загальний підхід до розробки - розробка математичної моделі → формулювання рівнянь руху. Реалізація чисельних методів → вирішення диференціальних рівнянь (Euler, Runge-Kutta). Інтеграція з базою даних → збереження результатів та параметрів. Розгортання серверної частини → використання Python (Flask, FastAPI) або C++. Візуалізація → інтеграція з GIS або 3D-графікою.

Для ефективного розрахунку траєкторії артилерійського снаряда необхідно поєднувати високоточні чисельні обчислення, моделювання,

великі дані та штучний інтелект. Python є основною мовою розробки через зручність та наявність математичних бібліотек. Використання хмарних сервісів дозволить масштабувати систему та підключати метеоаналіз у реальному часі.

Цей стек технологій дозволить створити потужну, точну та ефективну інформаційну підсистему розрахунку траєкторії артилерійського снаряду.

3.3. Апаратне забезпечення розробки для розрахунку траєкторії артилерійського снаряду

Розрахунок траєкторії артилерійського снаряду є складним обчислювальним процесом, що потребує потужного апаратного забезпечення для виконання чисельних методів, симуляцій, аналізу великих масивів даних та роботи зі штучним інтелектом.

Основні вимоги до апаратного забезпечення

Висока обчислювальна потужність (процесор, GPU).

Великий обсяг оперативної пам'яті (для обробки великих даних).

Швидке зчитування та запис (SSD-накопичувачі).

Підтримка паралельних обчислень (багатоядерні процесори, CUDA).

Надійність і стабільність роботи для тривалих симуляцій.

Конфігурація серверного обладнання

Для розрахунків, що потребують великої продуктивності, доцільно використовувати серверні рішення або хмарні обчислення.

Центральний процесор (CPU)

MD EPYC 9654 (96 ядер, 192 потоки) – для максимально паралельних обчислень. Intel Xeon Platinum 8480+ (56 ядер, 112 потоків) – серверне рішення для наукових розрахунків. AMD Ryzen Threadripper PRO 5995WX (64 ядра) – високопродуктивний процесор для обчислювальних симуляцій.

Графічний процесор (GPU) для прискорених обчислень - використання графічних процесорів дозволяє значно прискорити симуляції та машинне навчання.

NVIDIA A100 (80GB HBM2e) – серверний графічний процесор для глибокого навчання та паралельних обчислень. NVIDIA RTX 6000 Ada – для складних наукових розрахунків та 3D-моделювання. AMD Instinct MI250X – альтернатива від AMD для високопродуктивних обчислень.

Оперативна пам'ять (RAM)

Обробка великих масивів даних та складних симуляцій потребує великого обсягу оперативної пам'яті. Мінімум 64 ГБ RAM (DDR5 ECC для серверних рішень). Оптимальний варіант – 128 ГБ – 256 ГБ (для складних симуляцій). Для хмарних обчислень – динамічне масштабування пам'яті.

Накопичувачі (SSD, HDD, NVMe) - NVMe SSD (мінімум 4 ТБ) – для швидкого доступу до великих масивів даних. HDD (10+ ТБ) – для архівного зберігання симуляцій та історичних даних. RAID-масиви – для резервного копіювання та підвищення швидкості роботи.

Апаратні платформи для обчислень та моделювання

Локальні обчислювальні станції

Dell Precision 7920 Tower – робоча станція з потужним CPU та GPU. HP Z8 G5 Workstation – для наукових та військових обчислень. Lenovo ThinkStation P620 – з підтримкою Threadripper PRO.

Хмарні сервери для масштабованих розрахунків

Google Cloud Compute Engine (A2 Ultra GPU) – для глибоких нейронних мереж. Amazon AWS EC2 (P4d інстанси) – для моделювання артилерійських розрахунків. Microsoft Azure HBv3 Virtual Machines – оптимізовані для наукових розрахунків.

Додаткове обладнання

Датчики та метеорологічне обладнання - лазерні далекоміри – для вимірювання відстані до цілі. Барометри, анемометри – для збору метеорологічних даних. GPS-модулі – для точного визначення координат.

Візуалізація та симуляції - VR/AR-системи – для інтерактивного аналізу траєкторії. 4K-монітори та графічні станції – для детального аналізу моделювання.

Висновки до розділу 3

Для ефективного розрахунку траєкторії артилерійського снаряда потрібно використовувати потужні сервери або хмарні обчислення, що забезпечують високу швидкість обробки даних. Оптимальним вибором є комбінація CPU + GPU для гібридних обчислень. Використання NVMe SSD значно прискорить обробку симуляцій. Інтеграція з метеосенсорами та GPS покращить точність моделювання.

Ця конфігурація дозволить отримати точні дані для військових, наукових та інженерних застосувань.

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

Розробка інформаційної системи (ІС) розрахунку траєкторії артилерійського снаряду є актуальною задачею у сфері військової аналітики, оборонних технологій, наукових досліджень та навчально-тренувальних симуляцій. Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) визначає доцільність цієї розробки з точки зору технічних можливостей, економічних вигод та ефективності впровадження.

4.1 Технічне обґрунтування, аналіз потреби в системі

Сучасні військові та оборонні структури використовують складні методи артилерійських розрахунків, що вимагають:

Високої точності обчислень траєкторії снарядів.

Оперативного коригування стрільби з урахуванням метеоумов.

Оптимізації витрат боєприпасів для підвищення ефективності вогню.

Існуючі рішення (традиційні балістичні таблиці, старі програмні комплекси) мають низку обмежень, зокрема повільність обчислень, недостатню інтеграцію з сучасними сенсорами та недостатню адаптивність до змінних умов.

Пропонована технічна концепція

Система базується на:

- Чисельних методах обчислення (методи Рунге-Кутта, Ейлера).
- Штучному інтелекті (ШІ) та машинному навчанні для аналізу траєкторій.
- Реальному зборі метеорологічних даних (вологість, вітер, тиск).
- Хмарних та локальних обчисленнях для масштабованості.
- Технічні параметри розробки

Програмне забезпечення: Python (NumPy, SciPy), C++, MATLAB, TensorFlow для прогнозування.

Апаратне забезпечення: серверні платформи на базі Intel Xeon / AMD EPYC та GPU NVIDIA A100.

База даних: PostgreSQL для збереження траєкторій, параметрів стрільби та метеоданих. Візуалізація - інтеграція з GIS-системами для графічного відображення траєкторії.

Економічне обґрунтування. оцінка витрат на розробку.

Основні статті витрат

№	Стаття витрат	Оцінка витрат (USD)
1	Аналіз вимог та проектування	\$10,000
2	Розробка математичної моделі	\$15,000
3	Програмування та тестування	\$40,000
4	Закупівля серверного обладнання	\$30,000
5	Інтеграція з метеосенсорами	\$15,000
6	Тренування моделей ШІ	\$20,000
7	Впровадження та навчання персоналу	\$10,000
Загалом	\$140,000	

Очікуваний економічний ефект

Зменшення витрат на боєприпаси за рахунок точних обчислень – до 15-25%. Оптимізація артилерійської підготовки – скорочення часу на розрахунок у 3-5 разів. Зниження людського фактора – автоматизація процесів зменшує ймовірність помилок. Зростання ефективності вогню – підвищення влучності на 20-30%. Можливість комерційного використання – продаж системи військовим підрозділам, навчальним центрам, аерокосмічній галузі.

Термін окупності проекту

При впровадженні системи в одній артилерійській частині скорочення витрат на боєприпаси може досягати \$500,000 на рік, що забезпечує окупність протягом 6-12 місяців.

Висновок до розділу 4

Система використовує сучасні методи чисельного прогнозування, машинного навчання та метеоаналізу. Економічна вигода - зниження витрат на боєприпаси, підвищення точності та ефективності стрільби. Швидка окупність - висока вартість артилерійських систем компенсується завдяки оптимізації боєзапасу. Перспективи - використання у військовій справі, навчанні та інженерних дослідженнях.

З огляду на вищенаведене, розробка інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду є виправданою як з технічної, так і з економічної точки зору.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Загальні положення

Охорона праці є важливим аспектом під час розробки та експлуатації інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду. Даний розділ розглядає основні аспекти безпеки, гігієни праці, пожежної безпеки та електробезпеки для розробників програмного забезпечення та операторів системи, а також заходи з мінімізації професійних ризиків.

Аналіз умов праці, робоче середовище це розробка та експлуатація системи проходить в умовах:

- Офісного середовища (для програмістів, інженерів, аналітиків).
- Військових або випробувальних полігонів (для тестування в реальних умовах).
- Серверних приміщень (для роботи із серверним обладнанням).

Потенційні небезпеки

Фізичні фактори: напружена робота за комп'ютером може викликати втому очей, синдром зап'ястного каналу, проблеми зі спиною. Електромагнітне випромінювання: монітори, комп'ютери та сервери випромінюють електромагнітні хвилі. Пожежна безпека: можливість займання електрообладнання через перевантаження або несправності. Психологічні фактори це високий рівень стресу через відповідальність за точність розрахунків.

Безпека праці в офісі

Робоче місце повинно бути оснащене ергономічними стільцями та столами. Монітори мають бути встановлені на рівні очей для зниження навантаження на шию. Організований регулярний відпочинок (кожні 1-2 години – 10-15 хвилин перерви). Забезпечення оптимального рівня освітлення (500-1000 люкс). Використання спеціальних програм для фільтрації синього світла (f.lux, режим Night Shift).

Електробезпека

Використання заземлених розеток для серверів та ПК. Регулярна перевірка електромереж та обладнання. Наявність аварійного відключення живлення на випадок перевантаження системи. Дотримання правил експлуатації серверного обладнання (заборона використання несправних кабелів, блоків живлення).

Пожежна безпека

Установлення датчиків диму та систем пожежогасіння в серверних приміщеннях. Використання негорючих матеріалів для ізоляції електропроводки. Обов'язкова наявність вогнегасників (порошкових або вуглекислотних). Проведення інструктажу з пожежної безпеки для співробітників.

Інформаційна безпека

Використання шифрування для захисту даних. Обмеження доступу до критично важливих компонентів системи. Регулярне оновлення антивірусного програмного забезпечення.

Заходи щодо безпеки на випробувальних полігонах. Всі оператори та військовий персонал повинні мати захисне спорядження (каски, бронежилети). У зонах запуску артилерійських снарядів має бути чітко визначена безпечна відстань. Оператори мають бути проінструктовані щодо правил поводження з бойовими системами. Використання системи контролю метеоумов, що впливають на точність пострілу.

Висновок до розділу 5

Розробка та експлуатація інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду вимагає дотримання норм охорони праці для безпечної роботи персоналу. Запропоновані заходи щодо електробезпеки, пожежної безпеки, ергономіки та інформаційної безпеки дозволяють мінімізувати потенційні ризики та створити комфортні умови для роботи як у програмних лабораторіях, так і в польових умовах.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1 Загальні положення

Розробка та використання інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду тісно пов'язана з військовою діяльністю та випробуваннями, що можуть мати значний вплив на навколишнє середовище. Основною метою цього розділу є аналіз потенційних екологічних ризиків, які можуть виникати під час розробки та експлуатації системи, а також розробка заходів щодо їх мінімізації.

6.2 Вплив на навколишнє середовище

6.2.1 Атмосферне забруднення

- Вибухи та постріли можуть спричиняти викиди токсичних газів (CO_2 , NO_x , CO , SO_2) у повітря.
- Застосування вибухових речовин може спричинити забруднення повітря частинками металів та інших шкідливих речовин.
- Робота серверних центрів та обчислювальних кластерів може призводити до викидів тепла та споживання великої кількості електроенергії.

6.2.2 Забруднення ґрунтів та водойм

- Уламки снарядів, осколки металу та залишки вибухових речовин можуть потрапляти в ґрунт і водойми.
- Хімічні елементи, що використовуються в боєприпасах, можуть проникати у підземні води, спричиняючи екологічну загрозу.
- Військові полігони та випробувальні майданчики можуть зазнавати значної деградації ґрунтів.

6.2.3 Вплив шуму та вібрацій

- Випробування артилерійських систем супроводжуються потужними звуковими хвилями, які негативно впливають на флору та фауну.
- Надмірний шум може впливати на поведінку диких тварин, викликаючи їхню міграцію з природних середовищ.
- Вібрації від вибухів можуть спричинити мікроушкодження екосистеми в зоні випробувань.

6.3 Заходи щодо зменшення негативного впливу

6.3.1 Мінімізація викидів у повітря

- Використання екологічно безпечних вибухових речовин зі зниженими рівнями шкідливих викидів.
- Оптимізація використання артилерійських систем шляхом точних розрахунків траєкторії, що зменшує потребу в додаткових пострілах.
- Перехід на цифрове моделювання у більшості тестувань, що дозволить зменшити кількість реальних випробувань.

6.3.2 Контроль забруднення ґрунтів і водойм

- Використання екологічно безпечних оболонок для снарядів, що не забруднюють ґрунт важкими металами.
- Проведення регулярного моніторингу стану ґрунтів та водних ресурсів у зонах випробувань.
- Застосування технологій збору та утилізації уламків снарядів після випробувань.

6.3.3 Зменшення шумового впливу

- Вибір оптимальних полігонів для випробувань у малонаселених районах або віддалених територіях.
- Використання звукоізоляційних бар'єрів та заглиблених випробувальних майданчиків.
- Введення нічних обмежень на проведення тестувань для зменшення впливу на дику природу.

6.3.4 Зменшення енергоспоживання

- Оптимізація програмних алгоритмів для зниження енергоспоживання серверів.
- Використання відновлюваних джерел енергії (сонячні панелі, вітрові установки) для живлення випробувальних майданчиків.
- Впровадження технологій енергоефективного охолодження серверних приміщень.

Висновок до розділу 6

Використання інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду має певний негативний вплив на навколишнє середовище, однак його можна значно зменшити завдяки впровадженню цифрового моделювання, екологічно чистих матеріалів та енергоефективних технологій. Реалізація запропонованих заходів сприятиме збереженню природних ресурсів та мінімізації екологічного навантаження на довкілля.

ВИСНОВКИ

У ході виконання даної роботи було проведено комплексний аналіз, проектування та розробку інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду. Робота охоплює дослідження предметної області, аналіз існуючих рішень, розробку концепції системи на основі чисельних методів і штучного інтелекту, а також моделювання архітектури та бази даних.

Досліджено ключові аспекти зовнішньої балістики та фактори, що впливають на політ артилерійських снарядів.

Проаналізовано сучасні інформаційні системи для розрахунку траєкторій та визначено їхні переваги та недоліки.

Розробка концепції інформаційної підсистеми

Запропоновано математичну модель на основі диференціальних рівнянь руху з урахуванням аеродинамічних параметрів, сили тяжіння, опору повітря та балістичного дрейфу.

Використано чисельні методи обчислень (метод Рунге-Кутти, метод Ейлера) для розв'язку рівнянь руху снаряду.

Впроваджено елементи штучного інтелекту для прогнозування корекції траєкторій залежно від змінних умов (вітру, вологості, щільності повітря).

Проектування інформаційної системи

Розроблено логічну та фізичну модель бази даних, яка забезпечує збереження та обробку параметрів снарядів і зовнішніх умов.

Побудовано діаграми варіантів використання, послідовності та розгортання, що ілюструють функціональну структуру системи.

Програмне та апаратне забезпечення

Визначено оптимальне програмне забезпечення для розробки (мови програмування Python, C++, бібліотеки NumPy, SciPy, TensorFlow).

Описано апаратну інфраструктуру, яка включає високопродуктивні сервери для моделювання та обчислень.

Техніко-економічне обґрунтування

Проведено аналіз витрат на розробку та впровадження системи, визначено її економічну ефективність порівняно з традиційними методами розрахунку траєкторій.

Охорона праці та навколишнього середовища

Визначено потенційні ризики, пов'язані з використанням артилерійських систем, та розроблено заходи щодо підвищення безпеки персоналу.

Запропоновано екологічні заходи для зменшення негативного впливу військових випробувань на довкілля, включаючи мінімізацію викидів та шумового забруднення.

Значущість та перспективи розвитку

Розроблена інформаційна підсистема має широкий спектр застосувань, зокрема у військовій сфері, спорті (стрільба), а також в аерокосмічній галузі. Її впровадження дозволить значно підвищити точність балістичних розрахунків, знизити витрати на боєприпаси під час тренувань та випробувань, а також мінімізувати ризики для навколишнього середовища.

Подальший розвиток системи може включати:

Використання глибоких нейронних мереж для прогнозування траєкторій у режимі реального часу.

Розширення функціоналу для моделювання інших типів балістичних об'єктів (ракети, безпілотні літальні апарати).

Інтеграцію з GIS-системами для візуалізації та корекції траєкторій на картографічних моделях місцевості.

Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої концепції та інформаційної підсистеми, що дозволяє забезпечити високу точність прогнозування траєкторії артилерійських снарядів та оптимізувати їх використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Uzayr S. B. Using Blueprints. Mastering Unreal Engine. Boca Raton, 2022. P.87–134. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003214731-3> (date of access:13.03.2022)
2. Clagett R. After the echo: A survival guide for police & military snipers. Shawnee Mission, Kan : Varro Press, 2013. 147 p.
 - Smelyakov K., Chupryna A., Kolisnyk M., Ponomarenko O. Search by Image Engine Using Local Feature Detectors // 2020 IEEE Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), 30 April 2020, Vilnius, Lithuania. P. 1-4. DOI: 10.1109/eStream50540.2020.9108884
3. Oleksandr Topchii, Oleksandr Samantsov, Oksana Mazurova, Mariia Shirokopetleva. A Study of Optimization Models for Creation of Artificial Intelligence for The Computer Game in The Tower Defense Genre // Problem of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T'2020), Kharkiv, Ukraine.- 6-9, October 2020. doi: 10.1109/PICST51311.2020.9468057
4. I.D. Gorbenko, A.N. Alekseychuk, O.G. Kachko, M.V. Yesina, S.O. Kandy V.A. Ponomar. Calculation of general parameters for NTRU Prime Ukraine of 6-7 levels of stability USA Telecommunications and Radio Engineering, 2019. – Volume 78, Issue 4 – P. 327-340. DOI: 10.1615/ TelecomRadEng .v78.i4.40
5. Oleksandr Ponomarenko, Kirill Smelyakov, Anastasiya Chupryna, Dariia Tovchyrechko and Igor Ruban. Local feature detectors performance analysis on digital image Smelyakov, K. , Tovchyrechko, D., Ruban, I., Chupryna, A., Ponomarenko, O. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 - Proceedings, 2019, c. 644-648, 9061331
6. V. Golyan, N. Golyan, K Halchenko. Synthesis of a VHDL-model of Gas Discharge Circuit of Gas Laser 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers CAOL*2019 with Scientific Workshop “Data Science in Modern Optoelectronics and Lasers Engineering, Sozopol, Bulgaria. – 2019. – P. 570-573

ДОДАТОК А – ЕКРАНІ ФОРМИ РОЗРОБКИ

Результати розрахунку траєкторії польоту тіла, що кинуте під кутом до горизонту

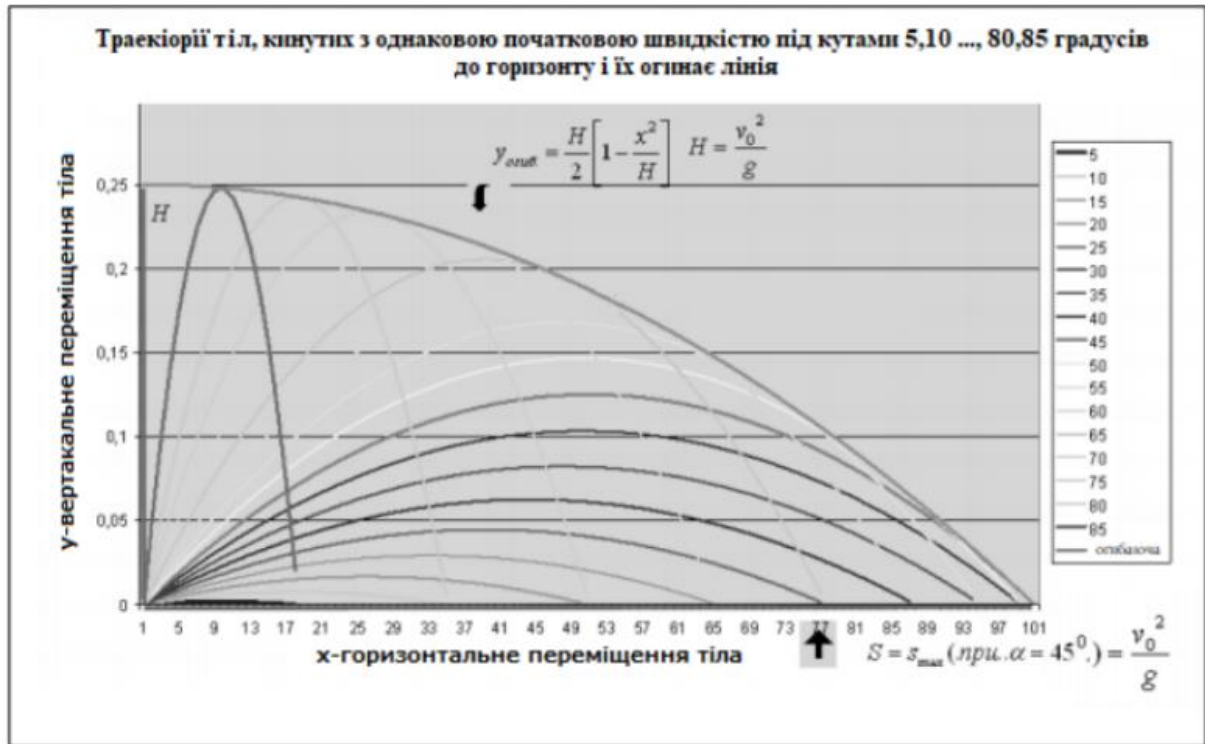


Рисунок А.1 – Результати розрахунку траєкторії польоту тіла, що кинуте під кутом до горизонту

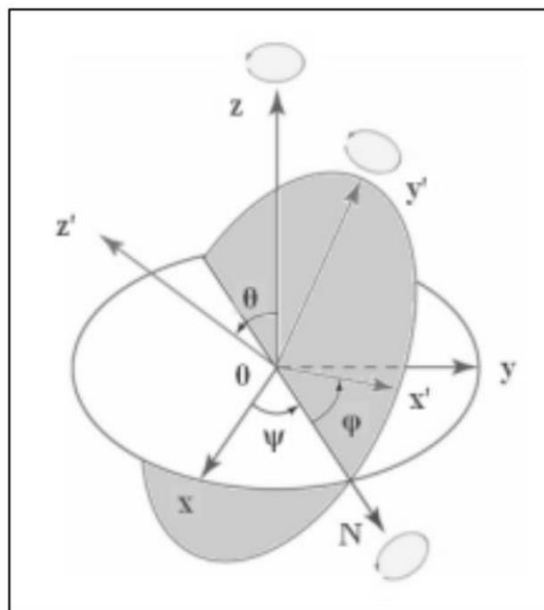


Рисунок А.2 – Розрахунок кутів Ейлера

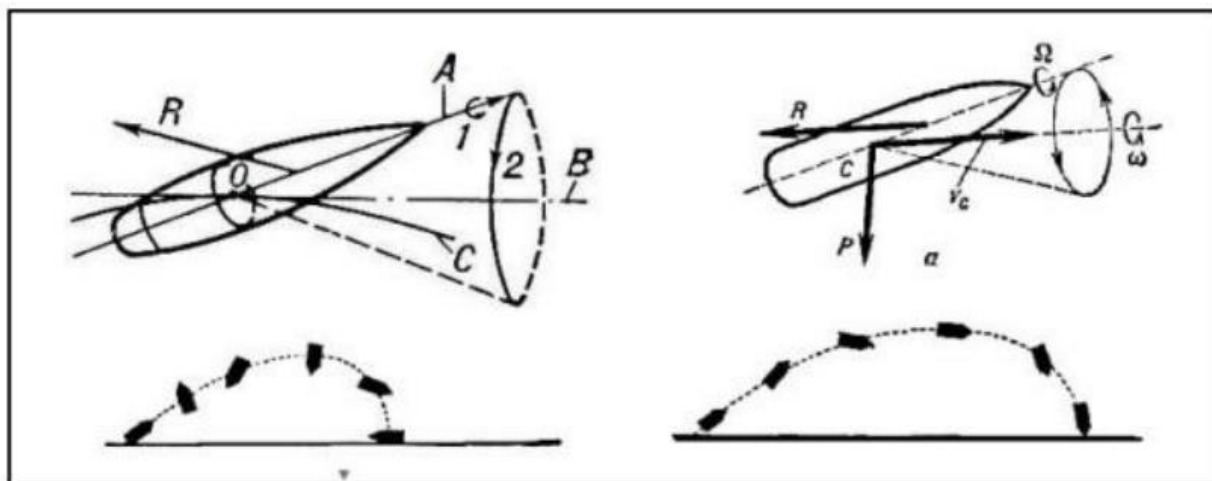


Рисунок А.3 – Візуалізація гіроскопічного ефекту

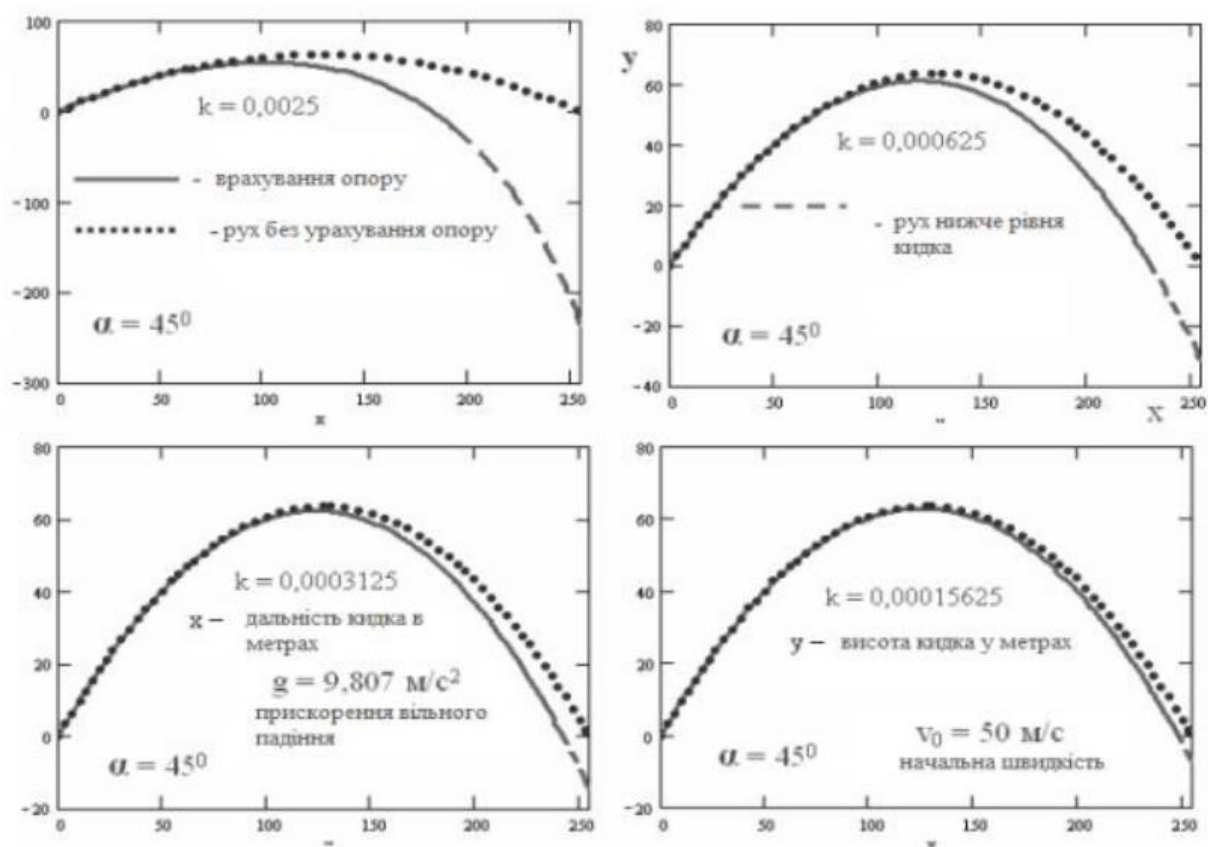


Рисунок А.4 – Обертання тіла навколо нерухомої осі

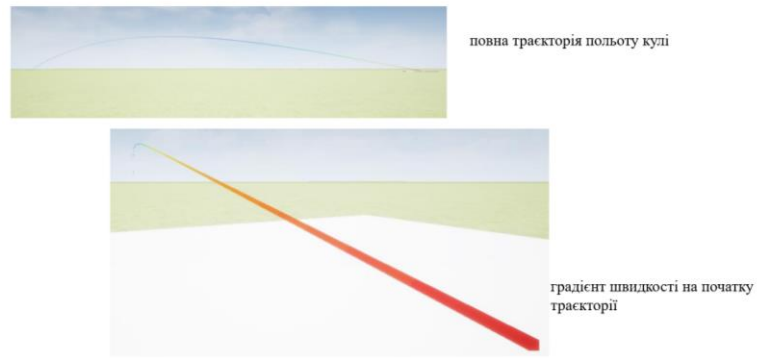


Рисунок А.5 – Екранна форма розробки

ДОДАТОК Б – ІНСТРУКЦІЯ КОРИСТУВАЧА

Загальні положення

Ця інструкція описує порядок роботи з інформаційною підсистемою розрахунку траєкторії артилерійського снаряду (далі – підсистема).

Підсистема призначена для моделювання, прогнозування та аналізу траєкторії артилерійських снарядів з урахуванням фізичних факторів і змінних умов середовища.

Цільова аудиторія:

Військові спеціалісти, оператори артилерійських систем.

Дослідники в області балістики.

Викладачі та студенти військових та технічних навчальних закладів.

Вимоги до обладнання

Мінімальні системні вимоги:

Операційна система: Windows 10/11, Linux (Ubuntu 20.04+), MacOS 12+

Процесор: Intel Core i5 / AMD Ryzen 5

Оперативна пам'ять: 8 GB RAM

Відеокарта: інтегрована (мінімальні вимоги для 2D-версії), NVIDIA GTX 1060 або AMD RX 580 (для 3D-версії)

Вільне місце на диску: 10 GB

Додаткове ПЗ: Python 3.9+, NumPy, SciPy, Matplotlib, OpenGL (для 3D-графіки)

Рекомендовані системні вимоги:

Процесор: Intel Core i7 / AMD Ryzen 7

Оперативна пам'ять: 16 GB RAM

Відеокарта: NVIDIA RTX 2060 або AMD RX 6600XT (для прискорених розрахунків)

Додаткове ПЗ: TensorFlow (для AI-модулів прогнозування)

Установка та запуск системи

Завантаження та установка

Завантажте інсталятор з офіційного сайту або отримайте архів із програмним забезпеченням.

Запустіть файл setup.exe (Windows) або виконайте команду в терміналі для Linux:

```
chmod +x setup.sh && ./setup.sh
```

Дотримуйтесь інструкцій інсталятора, виберіть каталог установки.

Після завершення установки натисніть "Завершити".

Запуск програми

Windows: відкрийте ярлик на робочому столі або знайдіть у меню "Пуск".

Linux / MacOS: у терміналі введіть команду:

```
python3 artillery_trajectory.py
```

Інтерфейс та основні функції

Після запуску підсистеми відкривається головне вікно, яке містить:

Меню налаштувань – вибір параметрів снаряда, середовища та алгоритмів розрахунку.

Поле введення параметрів – введення початкової швидкості, кута стрільби, типу снаряда.

Кнопка "Розрахувати" – запуск моделювання траєкторії.

Вихідні дані – таблиця з координатами польоту, швидкістю, часом польоту.

Графік траєкторії – візуалізація польоту снаряда у 2D або 3D-режимі.

Система звітності – можливість експорту розрахунків у PDF/Excel.

Використання основних функцій

Введення параметрів снаряда

Виберіть тип снаряда зі списку (артилерійський, реактивний тощо).

Введіть початкову швидкість (м/с).

Встановіть кут нахилу ствола (градуси).

Вкажіть масу та аеродинамічні характеристики снаряда.

Введення параметрів середовища

Встановіть температуру повітря ($^{\circ}\text{C}$).

Введіть тиск (Па).

Вкажіть швидкість та напрямок вітру (м/с).

Виберіть тип місцевості (рівнинна, гірська тощо).

Запуск розрахунку траєкторії

Натисніть кнопку "Розрахувати".

Дочекайтеся завершення обчислень (~3-5 секунд для стандартного режиму).

Ознайомтесь із результатами у вигляді таблиці та графіка.

Візуалізація та аналіз даних

Перемикайте режими відображення (2D-графік, 3D-візуалізація).

Збільшуйте / зменшуйте масштаб графіка для детального перегляду.

Зберігайте результати у вигляді PDF або Excel для подальшого аналізу.

Додаткові можливості

Використання AI-модуля прогнозування

Якщо активовано модуль штучного інтелекту, система автоматично коригує траєкторію на основі історичних даних.

AI може прогнозувати зміну траєкторії при зміні погодних умов у реальному часі.

Налаштування точності розрахунків

У розширених налаштуваннях виберіть алгоритм чисельного інтегрування:

Метод Ейлера (швидкий, але менш точний).

Метод Рунге-Кутти 4-го порядку (точніший, але ресурсозатратний).

Використання API для інтеграції

Система надає REST API, який можна використовувати для автоматизованого розрахунку траєкторій.

Приклад запиту:

```
{  
  "velocity": 800,
```

```
"angle": 45,  
"air_resistance": true,  
"wind_speed": 10  
}
```

Відповідь API містить координати точки влучення.

Поширені проблеми та їх вирішення

Проблема	Можливі причини	Рішення
Програма не запускається	Відсутні залежності	Встановіть Python 3.9+ та необхідні бібліотеки (pip install -r requirements.txt)
Неточні розрахунки	Неправильні початкові параметри	Переконайтеся у правильності введених значень
Графік не відображається	Відсутній OpenGL	Оновіть драйвери відеокарти

Ця інструкція допоможе ефективно використовувати інформаційну підсистему для точного розрахунку траєкторії артилерійських снарядів. У разі виникнення питань звертайтеся до служби технічної підтримки.

Автори: [НУК ім. адм. Макарова]

Версія документа: 1.0

ДОДАТОК В – ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Цей документ визначає технічні вимоги до створення інформаційної підсистеми розрахунку траєкторії артилерійського снаряду (далі – підсистема). Система призначена для моделювання, прогнозування та аналізу траєкторії артилерійських снарядів з урахуванням фізичних факторів та змінних умов середовища.

Призначення та область застосування

Підсистема розрахована на використання:

Військовими підрозділами для точного наведення артилерійських систем. Дослідницькими центрами для аналізу поведінки снарядів у різних умовах. Навчальними закладами для моделювання та вивчення зовнішньої балістики.

Функціональні вимоги включають вхідні параметри, а саме початкові параметри снаряда - початкова швидкість (м/с), кут нахилу ствола (градуси), маса та геометрія снаряда, метеорологічні умови (температура повітря (°C), атмосферний тиск (Па), вологість (%), напрямок і швидкість вітру (м/с). Інші параметри: висота над рівнем моря (м), опір середовища (коефіцієнт аеродинамічного спротиву).

Обробка даних: розрахунок балістичної траєкторії на основі диференціальних рівнянь руху, використання чисельних методів (метод Рунге-Кутти, метод Ейлера), прогнозування точки влучення з урахуванням похибок та змінних умов, візуалізація траєкторії у 2D/3D-форматі.

Вихідні дані: координати точки влучення, таблиця параметрів польоту (час, швидкість, висота, дальність), візуалізація польоту снаряда на карті місцевості.

Нефункціональні вимоги

Продуктивність включає розрахунок траєкторії повинен виконуватися менш ніж за 5 секунд, точність вимірюється розрахунком похибки визначення точки влучення не більше ± 5 метрів.

Інтерфейс повинен бути дружній, користувацький інтерфейс з інтерактивними елементами.

Сумісність полягає в можливість інтеграції з GIS-системами для картографічного аналізу.

Масштабованість дає можливість використання нейронних мереж для прогнозування траєкторії.

Технічні вимоги

Програмне забезпечення:

- Мова програмування: Python, C++.
- Фреймворки: NumPy, SciPy, Matplotlib, TensorFlow.
- База даних: PostgreSQL + PostGIS.
- Візуалізація: OpenGL, Unity, Three.js (для 3D-графіки).

Апаратне забезпечення:

- CPU: не менше Intel Core i7 / AMD Ryzen 7.
- GPU: підтримка CUDA / OpenCL (для обчислень AI-моделі).
- ОЗП: не менше 16 GB.
- Дисковий простір: 500 GB SSD.

Інтерфейс та користувацький досвід

Графічний інтерфейс:

- Панель введення параметрів.
- Візуалізація траєкторії.
- Інтерактивна карта з можливістю зміни параметрів у реальному часі.
- API для автоматизованого розрахунку та інтеграції із зовнішніми системами.

Тестування та валідація

Перевірка точності розрахунків шляхом порівняння з експериментальними даними. Навантажувальне тестування при обробці великих масивів даних. Перевірка на сумісність із різними платформами (Windows, Linux).

Безпека та захист даних

Використання алгоритмів шифрування для передачі даних. Авторизація користувачів через OAuth 2.0. Обмеження доступу до критичних параметрів військового призначення.

Охорона праці та екологічні вимоги

Дотримання норм безпеки при роботі з військовими симуляціями. Мінімізація впливу системи на довкілля (зниження витрат на тестові стрільби).

Етапи виконання робіт

№	Етап	Опис	Термін виконання
1	Аналіз предметної області	Дослідження балістичних моделей	1 місяць
2	Проектування системи	Розробка архітектури та БД	2 місяці
3	Реалізація	Програмування та інтеграція компонентів	3 місяці
4	Тестування	Перевірка розрахунків, виправлення помилок	1 місяць
5	Впровадження	Налаштування на реальних даних	1 місяць

Очікувані результати

Реалізація сучасного програмного комплексу для точного розрахунку траєкторій. Інтеграція штучного інтелекту для оптимізації точності прогнозування. Забезпечення високої швидкості розрахунків з мінімальними ресурсними витратами.

Дана інформаційна підсистема дозволить підвищити ефективність та точність артилерійських розрахунків, оптимізувати витрати боєприпасів та підвищити рівень військової підготовки.