2 Программная реализация м атематической модели и алгоритмов решения прямой и обратной задач движения снаряда в воздушном пространстве.

2.1 Общие сведения и назначения программы

2.1.1 Общие сведения

Наименование программы: «Программа для решения прямой задачи движения снаряда в воздушном пространстве».

Обозначение: 643.02069668.05001-01.

Программа требует наличия следующих общесистемных программных средств:

* операционная система (ОС) Linux, версия «Astra Linux Special Edition»;
* компилятор g++, поддерживающий C++17;
* установленный пакет «nlohmann-json3-dev».

Программа реализована на языке C++. Объем исполняемого файла не превышает 5 Мбайт. Для устойчивого функционирования программе требуется не менее 1024 Мбайт оперативной памяти.

2.1.2 Назначение программы.

Рассмотрим траекторию движения снаряда, полученную из решения

* Программа предназначена для решения следующих функциональных задач:
* расчет траектории движения снарядов c учетом влияния геофизических и метеорологических условий;
* формирование файлов с результатами расчетов для их использования при решении обратной задачи по определению точки выстрела по участку траектории.

Программа моделирования внешней баллистики не требует установки дополнительного программного обеспечения.

2.2. Структура программы

Перед развертыванием программы должна быть выполнена установка ОС Linux, версия «Astra Linux special edition».

В состав поставляемого дистрибутива ПК входит комплект инсталляционных файлов.

Комплект инсталляционных файлов состоит из:

исполняемых файлов;

каталог файлов данных Data.

В каталог файлов данных входят:

сх – содержит информацию об эмпирических законах сопротивления воздуха (emp\_aero.json);

initialdata – предназначен для хранения начальных условий стрельбы (NU\_OF29.json, …).

meteo – содержит геофизические и метеорологические константы (geo\_const.json, meteo\_const.json), нормальные распределения параметров атмосферы по высоте (P\_ot\_y\_nominal.csv, tau\_ot\_y\_nominal.csv), а также реальные метеоданные (real\_atmosphere.csv);

snaryad – содержит баллистические и аэродинамические характеристики снарядов (OF29 – 152mm.json, …);

result – предназначен для сохранения результатов расчета траектории в формате csv (Result\_NU\_OF29. csv, …).

2.3 Организация входных и выходных данных

2.3.1 Входные данные

Выходные данные расчета прямой задачи движения снаряда в воздушном пространстве представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты расчета траектории движения снаряда

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Обозначение  в модели | Обозначение  в программе | Единица  измерения |
| Время | *t* | t | с |
| Дальность в плоскости стрельбы | *x*c | x | м |
| Высота полета снаряда | *y*c | y | м |
| Боковое отклонение снаряда | *z*c | z | м |
| Скорость | *V*к | V | м/с |
| Угол наклона траектории | θ | teta | градус |
| Угол пути | ψ | psy | градус |
| Аксиальная угловая скорость снаряда |  | omega\_x | рад/с |
| Функция давления воздуха | π | pi(y) | – |

2.3.2 Выходные данные

Входные данные для расчета прямой задачи движения снаряда в воздушном пространстве представлены в таблицах 10–13.

Таблица 10 – Описание параметров снаряда

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Обозначение  в модели | Обозначение  в программе | Единица  измерения |
| Наименование | – | name | – |
| Калибр | *D* | D | м |
| Масса | *m* | m | кг |
| Длина | *l* | l | м |
| Длина головной части | *l*г | l\_gol | м |
| Положение центра масс от дна | *l*ц | l\_cm | м |
| Начальная скорость снаряда для штатного выстрела | *V*0 | Vs0 | м/с |
| Длина хода нарезов | *n* | narez | калибр |
| Аксиальный момент инерции | *Ix* | I\_x | кг·м2 |
| Коэффициент формы | *ix* | ix | – |
| Коэффициент согласования бокового отклонения | *iz* | iz | – |
| Коэффициент аэродинамического аксиального демпфирующего момента; | *mx* | m\_x\_omega | – |
| Диапазон чисел Маха для аппроксимации индивидуальных аэродинамических коэффициентов; | Ma | Ma |  |
| Коэффициенты индивидуальной зависимости коэффициента лобового сопротивления; | a0\_ind, a1\_ind, a2\_ind, a3\_ind, Ma | a0\_ind, a1\_ind, a2\_ind, a3\_ind, | -м |
| Метод интерполяции значений коэффициента лобового сопротивления  (0 – кубический полином, 1 – кубический сплайн); |  | interp\_metod | - |

Таблица 11 – Описание начальных параметров стрельбы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Обозначение  в модели | Обозначение  в программе | Единица  измерения |
| Начальное время | *t*0 | t0 | с |
| Координата начальной дальности в плоскости стрельбы | *x*0 | x0 | м |
| Координата начальной высоты положения орудия | *y*0 | y0 | м |
| Координата начального бокового отклонения | *z*0 | z0 | м |
| Высота положения цели(для определения условия остановки расчета) | *y*к | yk | м |
| Начальная скорость | *V*0 | V0 | м/с |
| Начальная аксиальная угловая скорость | ω0 | wx0 | рад/с |
| Начальный угол наклона траектории | θ0 | teta0\_grad | градус |
| Начальный угол пути | ψ0 | psy0\_grad | градус |
| Начальное значение функции давления |  | pi(0) | - |
| Дирекционный угол | αц | a\_dir\_grad | градус |

Таблица 12 – Описание геофизических условий

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Обозначение в модели | Обозначение в программе | Единица  измерения |
| Географическая широта | *В* | B\_geo | градус |
| Форма Земли  (0 - плоскость, 1 – шар) | *U*ф.з | U\_FormaZemli | – |
| Вращение Земли  (0 – не вращается, 1 – вращается) | *U*в.з | U\_VrashZemli | – |

Таблица 13 – Описание метеорологических условий

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Обозначение  в модели | Обозначение  в программе | Единица  измерения |
| Тип задания метеоусловий  (0 – нормальная артиллерийская атмосфера,  1 – реальные метеоданные) | *U*а | U\_norm\_real | – |
| Температура воздуха на поверхности Земли | *T*(0) | T0 | К |
| Атмосферное давление на поверхности Земли | *P*(0) | P0 | мм рт.ст. |
| Учет влияния ветра  (0 – не учитывать,  1 – учитывать) | *U*в | U\_wind | – |
| Вариант задания ветра  (1 – постоянный по высоте,  2 – степенной закон,  3 – реальные метеоданные) | *U*в.в | U\_wind\_type | – |
| Скорость ветра на стандартной высоте измерений *h*0 =10 м | *w*(*h*0) | w\_h10 | м/с |
| Направление ветра на стандартной высоте измерений *h*0 =10 м | α*w*(*h*0) | a\_w\_grad | градус |
| Показатель степенного закона | n | w\_p | - |
| Метод интерполяции значений параметров атмосферы  (0 – линейная интерполяция, 1 – кубический сплайн); |  | interp\_metod | - |

Таблица 14 – Реальные данные метеоизмерений

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Обозначение  в модели | Обозначение  в программе | Единица  измерения |
| Высота полета снаряда |  | y | м |
| Атмосферное давление |  | P | Па |
| Температура | T | T | С° |
| Направление ветра | αw(y) | alpha\_w(y) | градус |
| Скорость ветра | w(y) | w(y) | м/с |

2.4 Описание структур данных и алгоритмов программы

2.4.1 Описание структур данных

2.4.2 Описание алгоритмов программы

2.5 Описание работы программы

Работа с программой начинается с формирования файла с входными данными. Входные данные для решения прямой задачи внешней баллистики представлены в файле, структура и содержание которого приведена в разделе 6 документа 643.02069668.05001-01 13 01 «Программа для решения прямой задачи движения снаряда в воздушном пространстве. Описание программы».

Необходимо запустить терминал в папке с программой. Ввести команду «./ExtBallistics». Отобразится меню программы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Меню программы

Для решения задачи внешней баллистики необходимо ввести «1», для выхода – «0». В терминале отобразится список файлов с начальными условиями. Ввести в терминал номер файла с начальными условиями (рисунок 2).

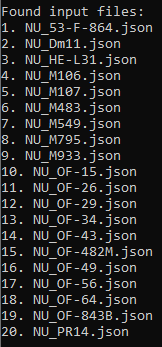


Рисунок 2 – Выбор файла с начальными условиями

При запуске расчета отобразится надпись «Processing». После завершения расчета отобразится надпись «Complete!» и надпись «Result saved on path: <path-to-file>» с указанием пути <path-to-file> до файла с результатами расчета (рисунок 3).



Рисунок 3 – Отображение результата расчета в терминале

2.6 Методика испытания программы

Испытания устойчивости функционирования осуществляются по ситуациям, описанным в пункте 3.2.2, и тестовым примерам, приведенным ниже. Ситуации, приведенные в левой части таблицы 1 в пункте 3.2.2, проверяются соответствующими тестовыми примерами. При этом реакция программы на проверяемую ситуацию должна соответствовать требуемой реакции программы, приведенной в правой части табл. 1.

Ситуация 1 проверяется следующим образом.

* 1. Запустить программу.
  2. Ввести номер начального условия, которого нет в списке.
  3. В окне программы должна появиться надпись «Incorrect input»

Ситуация 2 проверяется следующим образом.

1. Зайти в папку ExtBallistics/Data/cx.
2. Переместить файл emp\_aero.json в другую папку.
3. Запустить программу.
4. Указать номер начального условия.
5. На экране должно появиться сообщение «Error!!! Can’t open file: path <path-to-file>»