

АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Турец Е. А., Кукин Д. П.

Факультет информационных технологий и управления, кафедра вычислительных методов и программирования, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: egorturets@gmail.com, kukin@bsuir.by

Расчетами внешней баллистики с учетом сопротивления воздуха ученые занимаются уже около 100 лет. Рынок в развитии внешней баллистики в начале 20-го века был обусловлен одновременным прогрессом ствольного оружия и вычислительной математики, аэродинамики и физики обтекания тел. Вместе с тем требования предъявляемые системам расчета постоянно увеличиваются. Алгоритмы моделирования динамики твердых тел используются при научных исследованиях, военных и гражданских разработках, физических движениях и других отраслях.

ВВЕДЕНИЕ

Внешняя баллистика – одна из сфер применения алгоритмов моделирования динамики твердого тела. Она занимается решением четырех основных задач.

1. Основная или прямая задача состоит в расчете траекторий движения снарядов по заранее известным данным. Для ее решения необходимо, прежде всего, правильно определить, какие силы действуют на снаряд в полете, и знать, какова будет их величина в каждый момент времени. Затем следует составить дифференциальные уравнения движения снаряда с учетом всех действующих сил. В результате решения этих уравнений получаются все характеристики движения: скорость, ускорение, время полета и координаты центра масс, по которым может быть построена траектория;
2. Обратная задача состоит в определении проектных баллистических характеристик движения по заданным тактико-техническим данным ракетной или артиллерийской системы. Вторая задача непосредственно связана с баллистическим проектированием системы, важным этапом которого является отыскание оптимальных режимов движения и траекторий полета;
3. Расчет стабилизации снарядов различного назначения и определение условий их управляемости;
4. Изучение факторов, влияющих на рассеивание траекторий снарядов, и рассмотрение способов уменьшения рассеивания и повышения точности стрельбы. [1]

Математическая модель внешней баллистики, в которой снаряд представлен в виде материальной точки, используется уже давно. Полигонные исследования показали, что переходить к более сложным моделям, в которых снаряд представлен в виде твердого тела, нецелесообразно. В модели, в которой снаряд представлен в виде материальной точки, для учета движения снаряда

вокруг центра масс используется параметр формы для разных дальностей стрельбы.

I. СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ И СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Модель внешней баллистики снаряда используется в двух видах расчетов:

- Расчет траектории при известном угле бросания;
- расчет таблиц стрельбы при известных дальностях.

Расчет таблиц стрельбы более сложный и более востребованный в практике вид расчетов.

Таблицы стрельбы – сборники параметров, характеризующих стрельбу из определенного образца оружия, содержащие данные о прицеливании, траектории и результативности стрельбы. Их используются для расчета установок прицела полевой артиллерии, проектировании прицельных приспособлений стрелкового оружия, расчета поправок и прогнозирования результативности стрельбы.

Таблицы рассчитывают для нормальных метеорологических и баллистических условий стрельбы. При этом кривизна Земли и ее вращение не учитываются, ускорение силы тяжести принимается постоянным. [2]

При расчете баллистики патрона широкое распространение получил баллистический коэффициент, который отражает интегральное значение степени замедления и снижения траектории эталонного снаряда.

Баллистический коэффициент определяет относительно некоторого стандартного снаряда. На данный момент существует несколько стандартов, каждому из которых соответствует строго определенная форма и размер снаряда. Баллистический коэффициент зависит от формы патрона, его веса и калибра. На силу сопротивления воздуха влияет скорость пули, но поскольку она не учитывается в баллистическом коэффициенте необходимо использовать балли-

стический коэффициент того стандарта, который больше всего похож на тестируемую пулю.

На текущий момент разработано и используется множество баллистических калькуляторов и баллистических движков. Существуют программные продукты для самых распространенных операционных систем. Кроме того, разработаны мощные баллистические калькуляторы для мобильных устройств. Они в основном предназначены для помощи при калибровке и внесении поправок в прицельные приспособления и пользуются спросом у охотников, спортивных и гражданских стрелков

Одно из мощнейших приложений для операционных систем iOS и Android «Стрелок ПРО» разработано с применением самых последних знаний в области баллистики. [3] Также существуют приложения для настольных компьютеров, например, Dexadine Ballistic Explorer, ON TARGET, QuickLOAD и другие. Эти приложения позволяют выбирать характеристики множества патронов из имеющихся баз знаний, задавать собственные характеристики патрона, выбирать, по каким алгоритмам будет проводиться расчет и какие параметры должны использоваться. Некоторые программные продукты позволяют редактировать и загружать собственные формулы моделирования динамики тела, комбинировать несколько формул при расчете.

Безусловно, эти приложения являются очень мощными и полезными для охотников, стрелков любителей, исследователей и производителей стрелкового оружия и патронов. Однако не все приложения могут быть использованы для симуляции стрельбы танков и артиллерии на сверхдальние дистанции, запуска ракет, с изменяющейся скоростью и массой. Также они не могут быть использованы в качестве ядра игрового физического движка.

От современных систем моделирования динамики твердого тела недостаточно простого указания точки начала и конца движения. Необходимо, чтобы система могла показывать актуальные и корректные результаты моделирования в каждый момент времени. Промежуточные значения являются крайне необходимыми при предсказании поведения объекта, систем управления, промышленных разработках, исследованиях, аэрокосмическом моделировании и других сферах использования. Некоторые отрасли требуют отображения множества актуальных данных в режиме реального времени.

II. УРАВНЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Имеется множество уравнений и подходов моделирования динамики тела. Они могут значительно отличаться по точности, простоте, условиям использования. Например, для расчетов элементов траектории с учетом влияния воздушной среды используются такие методы как:

1. Численное интегрирование разностным методом. Позволяет рассчитать элементы траектории, заданной таблично, используя интерполирующую функцию [4];
2. Приближенные аналитические методы расчета траектории. Основаны на использовании зависимостей сопротивления воздуха, начальных условий, некоторых допущений и использования специальных табличных значений или функций;
3. Подобие траектории и табличные методы решения.
Для учета сопротивления воздуха используются такие законы как:
 1. Квадратичный закон, предложенный Ньютоном. Справедлив для скоростей 250 м/с;
 2. Степенной закон Маиевского – Забудского (1982-1985). Диапазон скоростей до 1000 м/с был разбит на 7 участков, каждому из которых соответствует свое значение;
 3. Закон Сиаиччи (1896 г.), в котором итальянский баллистик предложил аналитическую зависимость в диапазоне скоростей от 0 до 1200 м/с;
 4. Закон 1943 г. получен в Артиллерийской академии им. Ф. Э. Дзержинского на основании многочисленных опытов для диапазона скоростей до 2000 м/с и сведенный в таблицы;
 5. Закон 1958 г., разработан для оперенного эталонного снаряда. Также представлена в виде таблиц для скоростей до 2000 м/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изложенного материала авторская коллегия ставит перед собой цель разработать современную высокопроизводительную систему моделирования динамики твердого тела. Используемые модели и алгоритмы должны предоставлять возможность получать точные данные описывающие состояние тела и его положение в пространстве в каждый момент времени. Результаты расчетов должны быть доступны в режиме реального времени. Производительность системы должна позволять провести несколько параллельных расчетов различных тел с отображением результатов в различном виде в реальном времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуськов, А. В. Внешняя баллистика : учеб. пособие / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, А. В. Сотенко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 188 с.
2. Степанов, А. А., Лебединец А. Н. Расчеты внешней баллистики в исследованиях эффективности стрельбы / А. А. Степанов // Инженерный вестник. – 2015. – №9. – С. 537-542.
3. Стрелок Про [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.borisov.mobi/>. –Дата доступа: 06.10.2019
4. Дмитриевский, А. А. Внешняя баллистика: Учебник для студентов вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. / А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко – М. : Машиностроение, 2005. – 608 с.