

так звана "матриця калібрування". Вона містить характеристики камери, пов'язані з її внутрішньою будовою, а саме: фокусну відстань, місце перетину оптичної вісі лінзи та матриці камери. Усі ці величини виражені у абстрактних пікселях, їх фізичні значення за допомогою алгоритмів з класу "калібрування камери" відновити неможливо.

Основний математичний апарат описується у термінах проєктивної геометрії (з використанням однорідних координат) та матричної алгебри. Для кожного зображення будується матриця гомографії, що переводить площину шахової дошки в площину, у якій знаходиться дошка на відповідному зображенні. Елементи отриманих матриць після низки припущень та перетворень компонується у єдину систему, що розв'язується шляхом псевдообернення її матриці.

Реалізація даного алгоритму є можливою на будь-якій з сучасних мов програмування, авторами статті він був запрограмований на Python та C++. Серед сторонніх бібліотек були використані функція псевдообернення матриці та автодетекції шахової дошки на зображенні. Отримане програмне забезпечення застосовано для калібрування системи з двох камер на базі RaspberryPi, вихідні результати перевірені на адекватність у використанні системи для знаходження відстаней до тестових об'єктів.

к.ф.-м.н., доц. Стеля О.Б. (КНУ імені Т. Шевченка)

к.т.н. Потапенко Л.І. (КНУ імені Т. Шевченка)

Сіренко І.П. (КНУ імені Т. Шевченка)

к.військ.н. Нікіфоров М.М. (ВІКНУ)

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВНУТРІШНЬОБАЛІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Для створення нових артилерійських стволів, снарядів та зарядів необхідно використання сучасних математичних методів та відповідного програмного забезпечення. Це стосується як задач зовнішньої, так і внутрішньої балістики. Метою роботи є розробка чисельного алгоритму розв'язання основної задачі внутрішньої балістики та моделювання піродинамічних процесів при різних умовах заряджання.

Рух снаряда в каналі ствола гармати супроводжується різноманітними процесами: механічними, фізичними, хімічними, термо- та газодинамічними. До числа основних процесів у внутрішній балістиці відносяться: горіння пороху, утворення порохових газів, розширення порохових газів, поступальний рух снаряда, витікання порохових газів з каналу ствола тощо. Математична модель записується у

вигляді: $\psi = \chi z(1 + \lambda z)$, (1); $p = fw(\psi - \theta \phi q v^2 / (2 fw)) / s / (l_\psi + l)$, (2); $\phi q \frac{dv}{dt} = sp$, (3); $\frac{dl}{dt} = v$,

(4) $\frac{dz}{dt} = \frac{p}{I_k}$, (5); $l_\psi = l_0 \left[1 - \frac{\Delta}{\delta} - (\alpha - \frac{1}{\delta}) \Delta \psi \right]$, (6). Рівняння (1)–(6) зв'язують між собою:

шлях, який проходить снаряд l , швидкість снаряду v , тиск порохових газів p ,

відносну товщину порохів газів z та відносну масу згорілого пороху ψ . Розв'язування системи починається з моменту початку руху снаряда ($t = 0$). На цей момент задається значення p_0 тиск форсування і з першого та другого рівнянь визначаються значення ψ_0 та z_0 . Початковими умовами для диференціальних рівнянь (3)–(5) є: $v = 0$, $l = 0$, $z = z_0$. Система диференціальних рівнянь розв'язується методом Кутта-Мерсона.

Обчислювальні експерименти проводились для стрічкового пірокселінового пороху при різній товщині порохової стрічки.

На рисунку наведено графіки залежності тиску порохів газів в заснарядному просторі від положення снаряда в стволі при пострілі для різної товщини порохової стрічки (1 – товщина стрічки 1,5 мм, 2 – 2 мм, 3 – 2,5 мм).

Аналіз проведених розрахунків та їх порівняння з розрахунками за таблицями внутрішньої балістики дозволяє зробити висновок, що для балістичного проектування артилерійських систем необхідно використовувати математичну модель та відповідне програмне забезпечення, а не таблиці внутрішньої балістики.

*к.ф.-м.н., доц. Стеля О.Б. (КНУ імені Т. Шевченка),
к.т.н. Потапенко Л.І. (КНУ імені Т. Шевченка),
Сіренко І.П. (КНУ імені Т. Шевченка),
к.т.н., доц. Пампуха І.В. (ВІКНУ)*

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ЗОВНІШНЬОЇ БАЛІСТИКИ

Модельний аналіз траєкторій артилерійських снарядів передбачає використання математичних моделей, що враховують різні фактори впливу на траєкторію руху снаряда. У зв'язку з цим існують різні моделі, які використовують ті чи інші припущення, наприклад, аналіз руху снаряду як матеріальної точки або використання аеродинамічної моделі, вибір числа ступенів свободи. Для більш детального вивчення параметрів траєкторії снаряда було використано модель, засновану на стандарті STANAG та адаптовану до існуючих вихідних даних.

Модель використовує систему рівнянь, яка записується у векторній формі:

$$m \frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{GF} + \vec{DF} + \vec{LF} + \vec{MF},$$

$$\frac{d\vec{X}}{dt} = \vec{u},$$

$$\vec{u}_0(0) = (u_0 \cos \theta_0, u_0 \sin \theta_0, 0),$$

$$x(\theta_0; T) = L, y(\theta_0; T) = H, z(\theta_0, 0) = 0,$$

де m – маса снаряда, \vec{u} – вектор швидкості, \vec{X} – вектор координат, \vec{GF} – сила тяжіння, \vec{DF} – сила опору повітря, \vec{LF} – підйомна сила, \vec{MF} – сила

Магнуса, θ_0 – кут прицілювання, L – дальність до цілі, H – відносна висота місця цілі, T – час польоту снаряда.

При проведенні розрахунків необхідно знаходити такий кут прицілювання θ_0 при якому місце падіння снаряда буде на відстані L від точки стрільби при висоті цілі H над площиною стрільби. При цьому час польота снаряда T є також невідомою величиною.

Для розв'язання системи звичайних диференціальних рівнянь використовується чисельний метод Кутта-Мерсона. Через те, що частина умов задаються на одному кінці інтервалу інтегрування, а інші на другому кінці, в загальному алгоритмі розв'язування задачі використовується метод стрільби.

Наведено приклади розрахунку впливу вітру, впливу сили Магнуса, початкової швидкості тощо на траєкторію снаряда при різних дальностях до цілі та при різних висотах цілі над площиною стрільби. Результати моделювання порівнялись з даними таблиць стрільби, які показують хорошу узгодженість модельних розрахунків з таблицями.

*к.т.н., доц. Чешун В.М. (ХмНУ),
Кравченко А.О. (ХмНУ)*

ВИКОРИСТАННЯ КІНЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ПАРАЛЕЛЬНОГО ПАРКУВАННЯ

Зростання об'ємів виробництва автомобілів та збільшення їх габаритів призводить до зменшення кількості доступного для паркування місця, в результаті чого значно зростає ймовірність помилок водіїв в процесі паркування автомобіля, що зумовлює виникнення аварій та заторів.

В результаті проведених досліджень і експериментів було сформульовано вимоги і розроблений метод автоматичного паралельного паркування, який надає можливість паркування автомобілів в умовах обмеженого маневрового простору на площах з меншим паркувальним місцем і зменшує ймовірність зіткнень на стоянках.

Пропонований метод оснований на кінематичній моделі.

Використання робототехнічної кінематики на моделі транспортного засобу надає можливість відслідковувати її положення під час руху. Також завдяки геометричним методам прямої робототехнічної кінематики розрахунки для процесу паркування не мають сильної залежності від датчиків.

Існує два типи робототехнічної кінематики: пряма кінематика та інверсна. Пряма кінематика застосовується, коли відомі довжини кожної ланки маніпулятора та кути з'єднань для розрахунку координат будь-якої точки. Інверсна кінематика передбачає, що відомі довжини кожної ланки та координати деяких точок робототехнічного засобу та використовується для