

ІМОВІРНІСНИЙ ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ КУТІВ ВИЛЬОТУ НЕКЕРОВАНИХ РЕАКТИВНИХ СНАРЯДІВ ПРИ СХОДІ З ПУСКОВОЇ УСТАНОВКИ

Р.Ю. Михайлик
(подав проф. В.О. Прокопов)

В статті наводяться методика та результати імовірного чисельного аналізу параметрів сходу некерованих реактивних снарядів з пускової установки на підставі чисельного інтегрування диференціальних рівнянь руху.

Постановка проблеми. Подальший розвиток реактивних систем залпового вогню (РСЗВ) пов'язаний з теоретичними, чисельними та експериментальними дослідженнями впливу різноманітних збурюючих факторів на формування початкових умов активної ділянки руху снаряда. Оскільки ці збурюючі фактори носять випадковий характер, то і результати їх дії теж будуть випадковими. Сукупна дія декількох збурюючих факторів може давати різноманітні, навіть заздалегідь непередбачені результати, але потреба створення розрахункових таблиць стрільби передбачає розрахунок траєкторії польоту снарядів при фіксованих значеннях початкових умов на активній ділянці (кутів вильоту та кутових швидкостей снаряда). Ці фіксовані значення початкових умов можуть бути використані і при обчисленні імовірного відхилення по дальності та імовірного бокового відхилення, як математичні очікування параметрів сходу снаряда з пускової установки, отримані розрахунковим шляхом на підставі методів статистичного аналізу. Генеруючи значення збурюючих параметрів за допомогою встановлених на ПЕОМ датчиків випадкових чисел, та обробляючи результати чисельного інтегрування системи диференціальних рівнянь руху снаряда на ПУ, можливо отримати закони розподілу щільності вірогідності значень параметрів сходу та їх чисельні параметри (математичне очікування, дисперсію). Задаючи отримані математичні очікування параметрів сходу як початкові умови руху на активній ділянці, шляхом подальшого чисельного інтегрування рівнянь руху снаряда на траєкторії польоту можливо отримати відхилення снаряда по дальності та бокові відхилення, пов'язані з дією збурюючих факторів на ПУ.

Аналіз літератури. В існуючій літературі з балістики некерованих реактивних снарядів досить багато уваги приділяється теоретичним дослідженням, пов'язаним з розсіюванням снарядів. Недоліком цих робіт є те, що в

них або ж взагалі не розглядається питання про формування параметрів сходу з ПУ [1 – 3] як випадкових величин, або ж теорія, пов'язана з визначенням збурень параметрів сходу, досить складна та мало придатна для практичного використання [4], особливо при значній кількості збурюючих факторів. На теперішній же час головним джерелом інформації можуть бути, в першу чергу, отримані на ПЕОМ чисельні результати, а не складні аналітичні перетворення, які досить часто базуються на спрощеннях та припущеннях. Це дає змогу враховувати збурення при русі снаряда по ПУ шляхом чисельного інтегрування диференційних рівнянь при одночасному генеруванні випадкових значень збурюючих факторів, що значно простіше.

Мета статті. Метою даної статті є викладення методики та результатів імовірнісного чисельного аналізу параметрів сходу некерованих реактивних снарядів з пускової установки, що базується на чисельному інтегруванні систем диференційних рівнянь руху та методах статистичного аналізу.

До числа головних збурюючих факторів, що погіршують точність стрільби некерованими реактивними снарядами, відносяться кути вильоту снаряда, які утворюються при його сході з пускової установки (ПУ). Під кутами вильоту при цьому і в подальшому будемо мати на увазі різницю між кутом прицілювання та кутом напрямку осі снаряда після сходу з пускової установки. Ці кути будемо поділяти на такі, що утворюються у вертикальній площині стрільби та в боковому напрямку. Механізм утворення кутів вильоту можна пояснити дією моменту сили тяжіння після перетинання центром ваги снаряда дульного зрізу та дією ексцентриситету сили тяги двигуна.

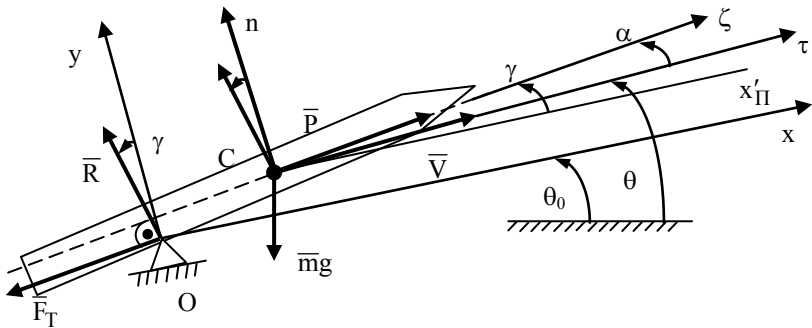


Рис. 1. Рух реактивного снаряда при спіранні на дульний зріз

Ігноруючи зв'язки між рухом снаряда у вертикальній площині та в боковому напрямку, запишемо рівняння обертального руху реактивного снаряда за цієї умови. До числа рівнянь включимо рівняння обертального руху в вертикальній площині, рівняння руху снаряда в площині, що перпендикулярна до площини стрільби та паралельна напрямній пускової установки, а також

рівняння обертання снаряда навколо його повздовжньої осі (рис. 1). Система диференціальних рівнянь, приведена до рівнянь першого порядку, має вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_c = V \cdot \cos(\theta - \theta_0); \\ \dot{y}_c = V \cdot \sin(\theta - \theta_0); \\ \dot{V} = (P \cdot \cos \alpha - Mg \cdot \sin \theta - R(\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha)) / m; \\ \dot{\theta} = (P \cdot \sin \alpha - Mg \cdot \cos \theta + R(\cos \alpha - f \cdot \sin \alpha)) / (mV); \\ \dot{\varepsilon} = \frac{x_c(P \sin \gamma - Mg \cos \theta_0) - y_c(P \cos \gamma - Mg \sin \theta_0) - M(x_c \ddot{y}_c - y_c \ddot{x}_c) + M_{e\eta}}{I_c}; \\ \dot{\gamma} = \varepsilon; \\ \dot{q} = (M_{e\xi} + R \cdot f \cdot x_c) / I_c; \\ \dot{\beta} = q; \\ \dot{\mu} = (M_p + M_{e\xi} - R \cdot f \cdot d / 2) / I_\xi; \\ \dot{\phi} = \mu, \end{array} \right. \quad (1)$$

де x_c , y_c – координати центра мас снаряда в нерухомій системі координат Оху, вісь х якої паралельна направляючій ПУ; θ_0 – кут прицілювання; θ – кут, що визначає напрямок вектора швидкості центра мас; α , β , γ – кути, які визначають напрямок осі снаряда; P – сила тяги; I_c , I_ξ f – екваторіальний та осьовий моменти інерції та коефіцієнт тертя снаряда об напрямну;

$$R = (mg \cos \theta_0 - P \sin \gamma + m \ddot{y}_c) / (\cos \gamma - f \sin \gamma);$$

$$\ddot{y}_c = \dot{V} \sin(\theta - \theta_0) + V \cos(\theta - \theta_0) \dot{\theta}.$$

Моменти ексцентриситету сили тяги відносно головних центральних осей інерції снаряда такі:

$$M_{e\xi} = M_{e\xi'}; \quad M_{e\xi} = M_{e\xi'} \cdot \cos \varphi - M_{e\eta'} \cdot \sin \varphi;$$

$$M_{e\eta} = M_{e\xi'} \cdot \sin \varphi + M_{e\eta'} \cdot \cos \varphi;$$

$$M_{e\xi'} = -P_{\xi'} \cdot e \cdot \sin \delta_2 + P_{\eta'} \cdot e \cdot \cos \delta_2;$$

$$M_{e\xi'} = P_{\eta'} \cdot L_e + P_{\xi'} \cdot e \cdot \sin \delta_2; \quad M_{e\eta'} = -P_{\xi'} \cdot L_e - P_{\xi'} \cdot e \cdot \cos \delta_2;$$

$$P_{\xi'} = P \cdot \cos \varepsilon; \quad P_{\xi'} = P \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \delta_1; \quad P_{\eta'} = P \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \delta_1;$$

$$M_p = P \cdot r_c \cdot \sin \gamma_c,$$

де M_p – реактивний момент, що утворюється за рахунок встановлення сопел двигуна під кутом до осі снаряда і використовується для прокрутки снаряда; e , ε , δ_1 , δ_2 , – радіальний ексцентриситет, кутовий ексцентриситет та фази ексцентриситету сили тяги; γ_c , r_c – кут та радіус встановлення сопел двигуна.

На підставі чисельного інтегрування рівнянь руху (1) були проведені обчислення кутів вильоту снаряда ОФ-21 в площині стрільби (кут γ) та в об-

ковому напрямку (кут β). На рис. 2 наведені результати обчислень зазначених кутів при фіксованих значеннях радіального ексцентриситету сили тяги та змінних значеннях кутового ексцентриситету та кута встановлення сопел.

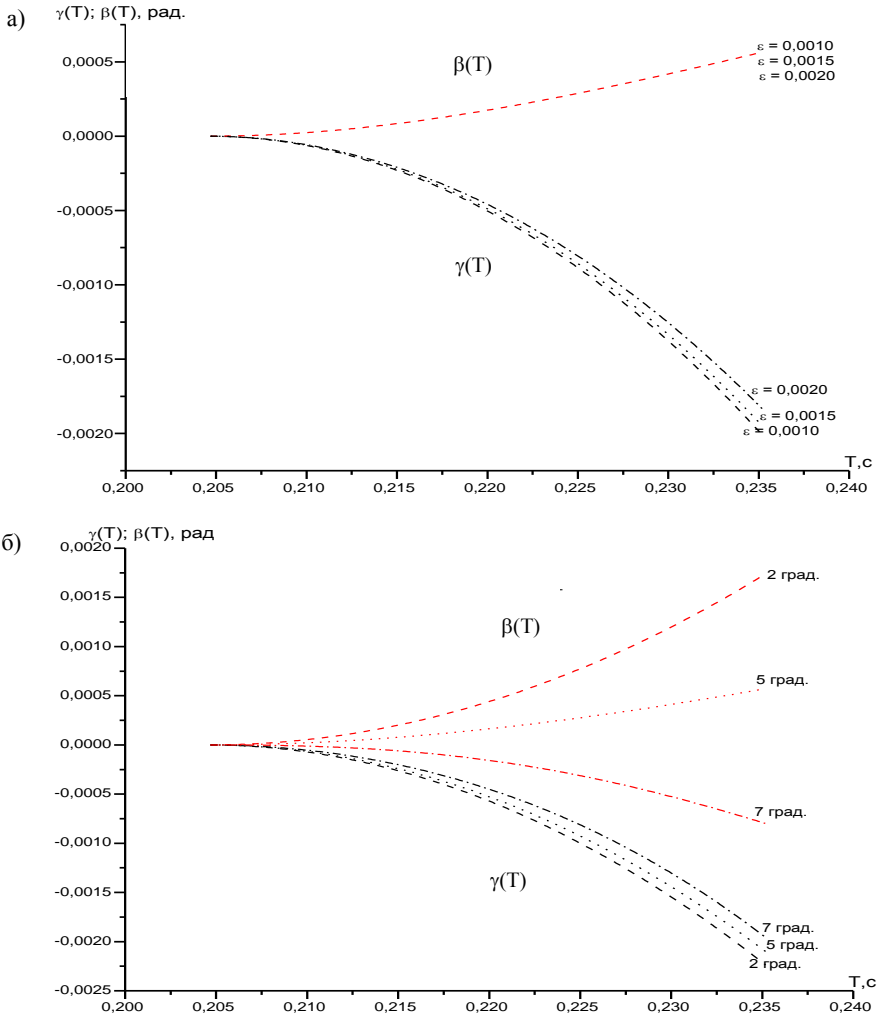


Рис. 2. Залежності кутів вильоту від часу руху по напрямній при фіксованих значеннях радіального ексцентриситету та: а – кута γ_c ; б – кутового ексцентриситету

З рис. 2 видно, що найбільш суттєвий вплив на значення кутів вильоту, особливо у боковому напрямку, має кут встановлення сопел двигуна. Менший, але все ж суттєвий вплив чинить і кутовий ексцентриситет сили тяги.

Необхідні для розрахунків інерційні характеристики снаряда (маса, положення центра мас та моменти інерції) обчислювалися за методикою, що наведена в [3]. Оскільки ексцентриситет сили тяги та кут установки сопел можуть приймати випадкові значення, то випадковими будуть і значення кутів вильоту. Вони формують випадкові початкові умови руху снаряда на активній ділянці.

З метою отримання чисельних характеристик імовірності випадкового процесу формування кутів вильоту був проведений чисельний статистичний аналіз кутів γ та β . При розрахунках випадковими вважалися значення кута γ_c та кутового ексцентриситету ϵ . Нормальний закон розподілу цих величин відносно їх номінальних значень генерувався ЕОМ за допомогою датчика випадкових чисел з нульовим математичним очікуванням та одиничною дисперсією. На рис. 3 та 4 наведені криві розподілу густини імовірності при нормальному законі розподілу значень кутового ексцентриситету та кута установки сопел. Наводяться дані про математичне очікування та дисперсію розподілу значень кутів вильоту. Дані отримані після 100 тисяч випадкових чисел.

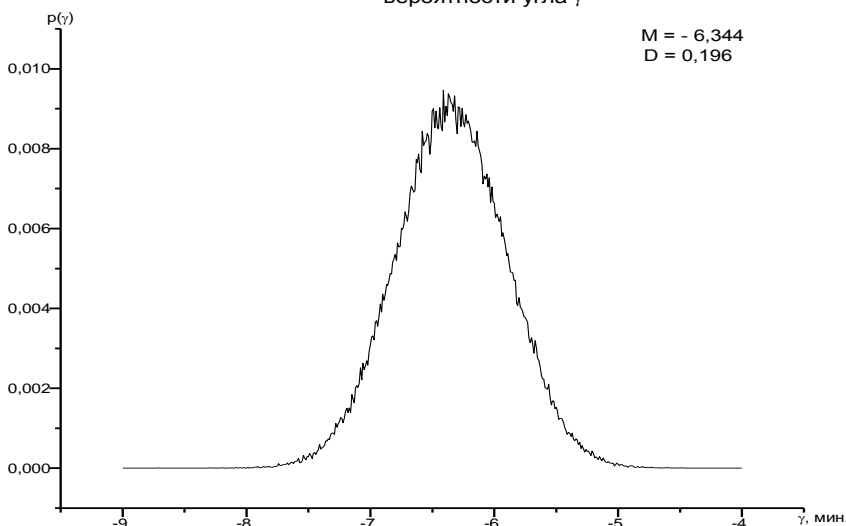


Рис. 3. Розподіл густини імовірності кута γ при одночасному нормальному законі розподілу ϵ та γ_c

Отримані значення чисельних характеристик випадкового процесу утворення кутів вильоту можуть бути використані для формування початкових умов руху снаряда на активній ділянці з метою створення розрахункових таблиць стрільби.

Висновки. Розроблена методика імовірнісної оцінки математичного очікування та інших параметрів закону розподілу щільності вірогідності параметрів сходу некерованих реактивних снарядів з пускової установки на підставі чисельного інтегрування системи диференціальних рівнянь руху снаряда по ПУ. **График распределения плотности вероятности угла β**

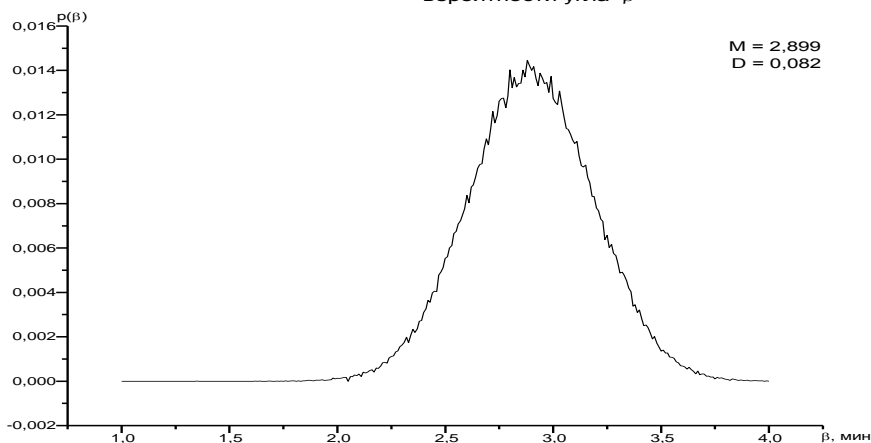


Рис. 4. Розподіл густини імовірності кута β при одночасному нормальному законі розподілу ε та γ_c

Це дає змогу проводити імовірнісний чисельний аналіз зазначених параметрів при одночасних випадкових значеннях декількох збурюючих факторів (ексцентриситету сили тяги, кута встановлення сопел двигуна та ін.). Результати роботи можуть бути використані при імітаційному моделюванні стрільби НРС з метою досліджень та створення таблиць стрільби.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гантмахер Ф.Р., Левин Л.М. Теория полета неуправляемых ракет. – М.: Физматгиз, 1959. – 361 с.
2. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика. – М.: Машиностроение, 1972. – 582 с.
3. Шапиро Я.М. Пороховые реактивные снаряды, Ч. 1. – М.: ВАИА им. Дзержинского, 1961. – 256 с.
4. Светлицкий В.А. Динамика старта летательных аппаратов. – М.: Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 280 с.
5. Таблицы стрельбы осколочно-фугасными реактивными снарядами М-210Ф. – М.: Воениздат, 1975. – 96 с.

Надійшла 4.03.2004

МИХАЙЛИК Роман Юрійович, науковий співробітник Наукового центру РІА. Закінчив ХВУ у 1996 р. Область наукових інтересів – зовнішня балістика артилерійських систем.