

УДК 355.45

О.М. Коновалов, С.М. Піскунов, М.І. Оборонов

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків***МОДЕЛЬ РУХУ СНАРЯДУ ПРИ СТРІЛЬБІ ЗЕНІТНИХ ГАРМАТНИХ КОМПЛЕКСІВ**

Розроблена математична модель руху зенітного снаряду в повітрі з урахуванням найбільш вагомих факторів які діють на снаряд під час польоту. Вона дозволяє зрозуміти та проаналізувати рух снарядів зенітної артилерії в повітрі та визначати відхилення які потрібно враховувати та закладати в цифрову обчислювальну систему при розробці та модернізації зенітних гарматних комплексів.

Ключові слова: математична модель, зенітний снаряд, зенітна артилерія, зенітні гарматні комплекси, методика побудов, модель руху снаряду.

Вступ

Постановка проблеми. Наша держава на порозі до вступу в НАТО. Керівництво країни робить усе можливе для приведення Збройних Сил України (ЗСУ) до стандартів та вимог, які ставлять перед нею країни-учасники блоку. Тому проводиться посиленна робота по модернізації та оновленню військової техніки. Але брак коштів не дає у повному обсязі проводити ці заходи. Ця проблема торкнулася і військ ППО Сухопутних військ (СВ). Наймолодшим комплексом, який стоїть на озброєнні військ є ЗСУ 2С6 зенітний гарматно-ракетний комплекс (ЗГРК) “Тунгуска” (прийнятий на озброєння у 1985 році).

Виходячи з фінансового становища нашої держави, можна сказати, що розробляти і будувати нові зенітні ракетні (артилерійські) комплекси досить дорого, але зенітні гарматні комплекси, які стоять на озброєнні можуть бути модернізовані, і це буде набагато дешевше і вигідніше для нашої держави.

Модернізація техніки може бути пов'язана, насамперед, з використанням нової елементної бази та нових технологій, особливо, що стосується обчислювальних засобів та лічильних пристроїв. Але, на жаль, цей відомий напрямок модернізації зенітних гарматних ракетних комплексів не може бути проведено без раніш складених таблиць стрільби та розрахованих балістичних коефіцієнтів для зенітної артилерії.

На даний час в Україні, таблиці стрільби для зенітної артилерії відсутні, як і відсутні дослідницькі полігони для визначення параметрів руху снарядів та проведення балістичних вимірювань. Тому тема статті, яка пов'язана з розробкою методики побудови таблиць стрільби зенітної артилерії є актуальною, бо вона безпосередньо стосується як можливостей щодо подальшої модернізації, так і ремонту існуючих на озброєнні у військах ППО СВ ЗСУ 2С6.

Аналіз літератури. Аналізуючи літературу, на сайтах відомих, ще за радянських часів, виробників

військової техніки та стрілецької зброї, у багатьох публікаціях відкритих воєнно-інформаційних джерел, автори висловлюють спільну думку щодо подальшого зростання ефективності зенітної артилерійського вогню у боротьбі з елементами високоточної зброї. Висока ефективність стрільби досягається, головним чином, за рахунок зростання скорострільності у веденні вогню та влучності кожного пострілу. З теоретичних основ стрільби зенітних артилерійських комплексів відомо, що досягнення такого виду вогню можливо за рахунок своєчасного корегування стрільби відповідно до зовнішніх метеорологічних та балістичних факторів, які супроводжують стрільбу. Корегування стрільби передбачає внесення відповідних змін до кутів підвищення та випереджувального азимуту артилерійських гармат з метою зустрічі снаряда з ціллю у випереджувальній точці, положення якої безперервно розраховується лічильним пристроєм відповідно до закону руху цілі та змін умов стрільби. Поточні умови стрільби у дискретні інтервали часу порівнюються з табличними метеорологічно-балістичними умовами, що містяться у пам'яті лічильного пристрою. Отже, ефективність ведення зенітного вогню у достатній мірі буде залежати від правильно складених та «защитих» у пам'ять лічильного пристрою таблиць стрільби для конкретного гарматного озброєння.

За часи Радянського Союзу питанням розробки таблиць стрільби займалися відповідні військові науково-дослідні установи. На Україні розробці подібних методик не було приділено достатньої уваги. Тому література яка повністю освітлює це питання авторам статті не відома.

Метою статті є розробка математичної моделі польоту зенітного снаряду та визначення практичних рекомендацій щодо її використання.

Викладення основного матеріалу

Для побудови моделі руху зенітного снаряду необхідно скласти систему рівнянь руху снаряду у повітрі. Для цього запишемо рівняння руху центру

мас зенітного снаряду у разі, коли снаряд рухається під впливом сили тяжіння і сили опору повітря.

При складанні рівнянь руху центру мас снаряду зробимо наступні допущення:

- 1) снаряд симетричний щодо повздовжньої осі;
- 2) кут нутації δ у весь час руху рівний нулю і обертальний рух снаряда не робить вплив на його поступальний рух. При цьому допущенні лінія дії сили опору повітря проходить через центр мас снаряду і напрям цієї сили протилежним швидкості його руху; отже, поступальний рух снаряда можна розглядати як рух матеріальної точки під впливом сили тяжіння і опору повітря;
- 3) прискорення сили тяжіння постійне по величині і напрямку;
- 4) атмосферні умови нормальні.

Допущення 3 не вносить погрішності, що має практичне значення при розрахунку траєкторій на відстанях польоту снарядів до 10 км, тобто в нашому випадку артилерійської практики ці допущення цілком прийнятні.

Враховуючи мізерність кута δ і допусків на виготовлення снарядів, допущення 1 і 2 відповідають дійсним умовам руху снаряда з достатньою точністю для практики розрахунку траєкторій.

Таким чином, при зроблених допущеннях снаряд можна розглядати як матеріальну точку з масою m , на яку діють сила тяжіння \bar{q} , направлена вертикально вниз, і сила опору повітря, направлена убік, зворотно напрямку руху снаряда V (рис. 1).

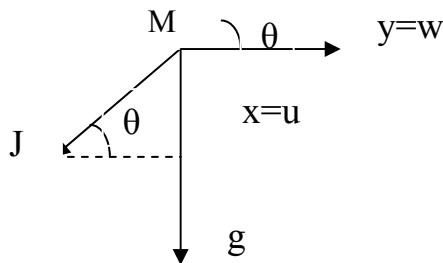


Рис. 1. Дія сили тяжіння, та сили опору

Розглянемо рух центру мас снаряда в довільний момент часу t .

Рівняння руху центру мас снаряда буде

$$m \cdot \frac{d\bar{v}}{dt} = m \cdot \bar{j} = \bar{R} + \bar{q}. \quad (1)$$

Розділивши цей вираз на масу снаряда m і

враховуючи, що: $\frac{\bar{R}}{m} = \bar{I}$; $\frac{\bar{q}}{m} = \bar{g}$, одержимо

$$\bar{j} = \bar{I} + \bar{g}, \quad (2)$$

де \bar{j} – вектор повного прискорення центру мас снаряда; \bar{I} – вектор прискорення сили опору повітря; \bar{g} – вектор прискорення сили тяжіння.

Спроекуємо векторну рівність на осі прямокутної системи координат з початком в точці вильоту (рис. 1):

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= I \cdot \cos(\hat{I}, x) = -I \cdot \cos \theta \\ \ddot{y} &= I \cdot \cos(\hat{I}, y) - g = -I \cdot \sin \theta - g \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Беручи до уваги, що

$$I = c \cdot H(y) \cdot F(V, \alpha);$$

$$\cos \theta = \frac{\dot{x}}{v};$$

отримуємо:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= -c \cdot H(y) \cdot F(v, \alpha) \cdot \frac{\dot{x}}{v}; \\ \ddot{y} &= -c \cdot H(y) \cdot F(v, \alpha) \cdot \frac{\dot{y}}{v} - g \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Для вирішення ряду питань балістики зручно користуватися рівняннями руху снаряда в природній системі координат, осі які направлені по дотичній і нормалі до траєкторії.

Для отримання цих рівнянь спроекуємо векторну рівність на дотичну T і нормаль N до траєкторії в даній точці M .

Проектуючи на дотичну, одержимо

$$j_T = -I - g \cdot \sin \theta, \quad (5)$$

а проектуючи на нормаль, отримаємо

$$j_n = -g \cdot \cos \theta. \quad (6)$$

З теоретичної механіки відомо, що проекції вектора прискорення $\frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{j}$ на дотичну T і на нормаль N мають наступний вигляд:

$$j_T = \frac{dv}{dt}; \quad j_n = v \cdot \frac{d\theta}{dt}, \quad (7)$$

тобто проекція повного прискорення руху центру мас снаряда на дотичну (j_m) визначає зміну швидкості руху по модулю, а проекція повного прискорення на нормаль до траєкторії (j_n) визначає зміну швидкості снаряда по напрямку.

Підставляючи ці значення проекцій повного прискорення в рівняння (7) відповідно і додаючи до них рівняння для визначення координат точок траєкторії, з урахуванням виразу для I , виведемо наступну систему диференціальних рівнянь руху центру мас снаряда:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= -c \cdot H(y) \cdot F(v, \alpha) - g \cdot \sin \theta \\ \frac{d\theta}{dt} &= -\frac{g \cdot \cos \theta}{v}; \\ \frac{dx}{dt} &= v \cdot \cos \theta \\ \frac{dy}{dt} &= v \cdot \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Дослідження проведені в попередньому пункті дозволили скласти певний алгоритм дій для розрахунку параметрів що входять до складу балістичних

таблиць стрільби зенітної артилерії. Алгоритм математичної моделі руху зенітного снаряду наведений на рис. 2

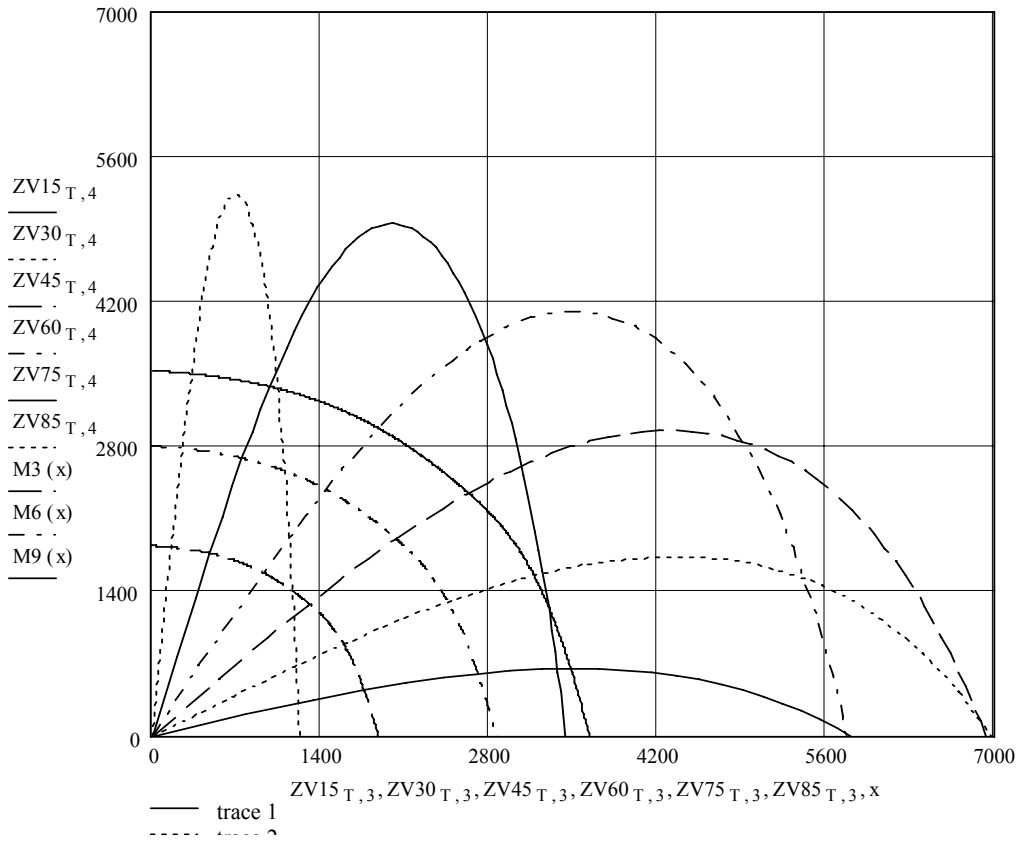


Рис. 2. Математична модель польоту зенітного снаряду (початок)

У блоці № 1 вводяться всі необхідні початкові дані для стрільби, які впливають на снаряд в момент вильоту його з каналу ствола, а саме:

- i – значення коефіцієнту форми відповідно до закону опору повітря 1943р.;
- d – калібр снаряду;
- g – прискорення вільного падіння;
- q – маса снаряду;
- Y_0 – початкова швидкість снаряду;
- Y_1 – кут кидання снаряду;
- C_x – значення балістичного коефіцієнту снаряду, координати упередженої точки.

Усі ці дані являються невід’ємними складовими при точному розрахунку траєкторії польоту зенітного снаряду.

У блоці № 2 розраховується час польоту t_u снаряда до упередженої точки A_y при розрахованому куті місця ϵ_y та упередженому азимуті β_y .

У блоці № 3 розраховується помилки стрільби, які викликані роботою ЦОМ. Це такі помилки, як: γ_ϕ – систематична помилка стрільби внаслідок помилки в куті підвищення; $\gamma_{\beta\phi}$ – систематична помилка стрільби внаслідок помилки в упереджувальному азимуті; δ_ϕ – середньоквадратична помилка стрільби

внаслідок помилки в куті підвищення; $\delta_{\beta y}$ – середньоквадратична помилка стрільби внаслідок помилки в упереджувальному азимуті.

У блоці № 4 проводиться розрахунок помилок стрільби внаслідок помилок визначення та врахування відхилень умов стрільби від табличних. Ці дані являються прямими характеристиками середовища, в якому здійснює політ артилерійський снаряд – повітря: приведена швидкість снаряду, відхилення: на зміну початкової швидкості, густини повітря, температури повітря, на попутний та боковий вітер.

Як відомо на влучність стрільби також впливає технічний стан самої ЗСУ, а саме головне – знос стволів виробу. Тому в блоці № 5 розраховуються помилки стрільби внаслідок технічного розсіювання снарядів.

Блок № 6 – основна частина математичної моделі. Саме тут відбувається розрахунок системи диференціальних рівнянь, що включає всі ті дані та помилки, які були введені та обчислені у попередніх блоках.

В блоці № 7 – здійснюється формування отриманих в ході розрахунків даних в таблиці та графіки.

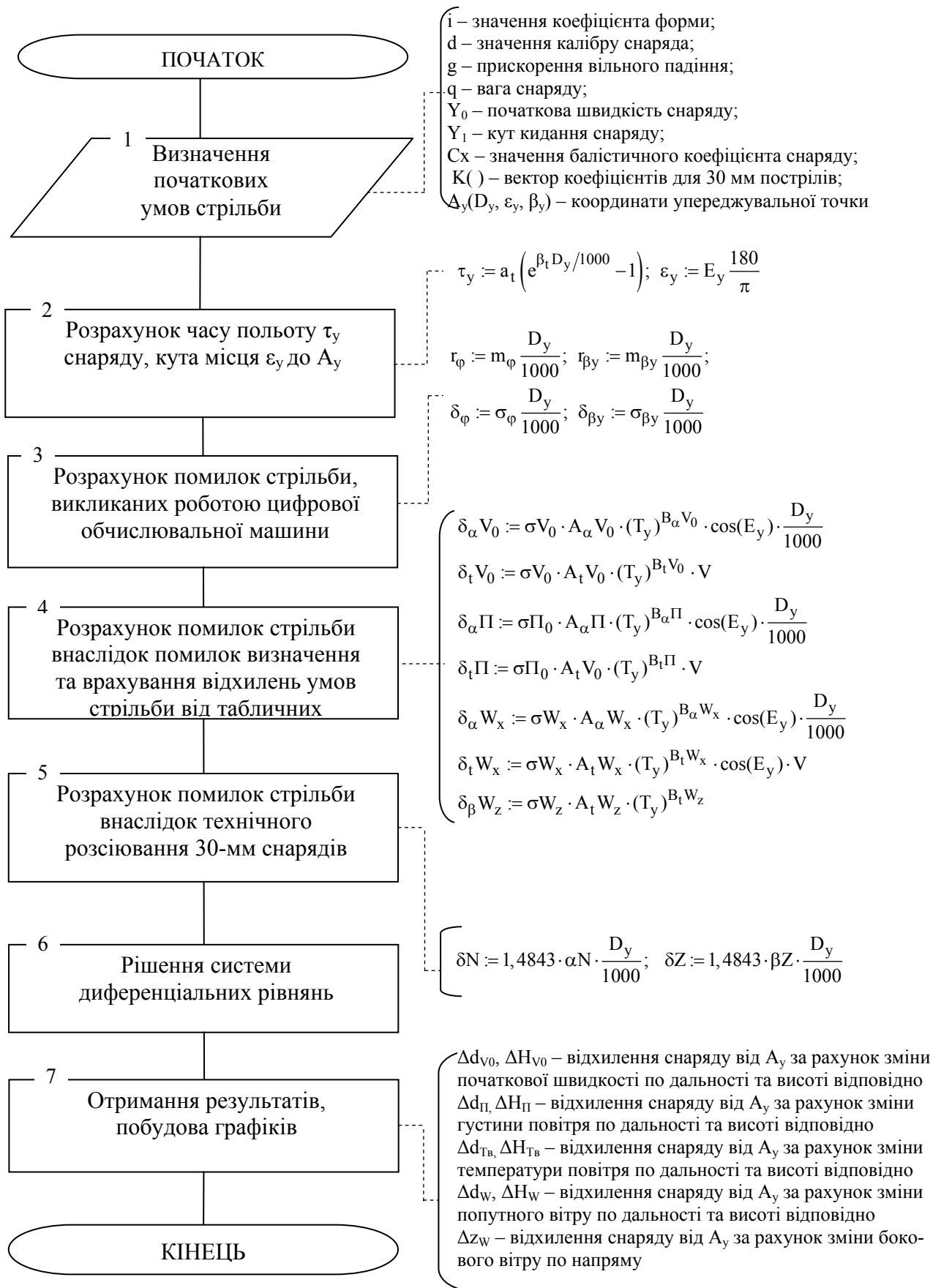


Рис. 2. Математична модель польоту зенітного снаряду (закінчення)

Дана модель створює підхід до побудови таблиць стрільби для зенітної артилерії із урахуванням усіх параметрів, які впливають на нього під час польоту у повітряному просторі: приведеної швидкості снаряду, відхилень на зміну початкової швидкості, густини повітря, температури повітря, на попутний та боковий вітер, висоти та ін.

За допомогою математичного пакета Mathcad побудована траєкторія руху 30 мм. снаряду для різних кутів кидання. За допомогою цих кривих ми можемо скласти свої таблиці стрільби, які є необхідною складовою при розробці зенітних гарматних комплексів.

Отримані таблиці стрільби можуть бути “зашиті” в ЦОС зенітно-гарматного ракетного комплексу “Тунгуска”.

Список літератури

1. Стрельба зенитной артиллерии (книга 1). – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1958. – 410 с.
2. Петухов С.И. Зенитные ракетные комплексы противовоздушной обороны Сухопутных войск / С.И. Петухов, И.В. Шестов, Р.Д. Ангельский // Техника и вооружение: вчера, сегодня, завтра. – 1999. – № 5-6. – 347 с.
3. Лебедев Б.Д. Вопросы автоматизации управления боевыми действиями артиллерии / Б.Д. Лебедев, Н.И. Мякин. – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1979. – 395 с.
4. Андерсен Ю.А. Противовоздушная оборона сухопутных войск / Ю.А. Андерсен, А.И. Дрожжин, П.М. Лозик. – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1979. – 457 с.

5. Ангельский Р.Д. Отечественные зенитные ракетные комплексы: иллюстрированный справочник / Р.Д. Ангельский, И.В. Шестов. – М.: ООО "Изд. Артель", ООО "Издательство АСТ", 2002. – 356 с.

6. Климович Е.С. Зенитный комплекс против самолета / Е.С. Климович, Л.С. Климович. – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1978. – 411 с.

7. Дьяконов В.П. Mathcad & PRO в математике, физике и Internet / В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова. – М., 1999. – 400 с.

8. Василин Н.Я. Зенитные ракетные комплексы / Н.Я. Василин, А.Л. Гуринович. – Мн.: ООО "Попурри", 2002. – 464 с.

9. Правила стрельбы и боевой работы на зенитных пушечно-ракетных комплексах войск ПВО Сухопутных войск. – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1988. – 144 с.

10. Зенитный пушечно-ракетный комплекс «Тунгуска». – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1991. – 248 с.

11. Таблицы стрельбы 57-мм автоматической зенитной пушки С-60 по воздушным целям. – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1970. – 71 с.

12. Вестник ПВО [Электронный ресурс]. – Режим доступа к док.: www.pvo.guns.ru.

13. Army-technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа к док.: www.army-technology.com.

Надійшла до редколегії 18.05.2009

Рецензент: канд. техн. наук, проф. В.М. Закорюкін, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ СНАРЯДА ПРИ СТРЕЛЬБЕ ЗЕНИТНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ

О.М. Коновалов, С.М. Пискунов, М.І. Оборонов

Разработана математическая модель движения артиллерийского снаряда в воздухе с учетом наиболее влияющих факторов, которые действуют на снаряд в полете. Она позволяет понять и проанализировать движение снарядов зенитной артиллерии в воздухе и определить отклонения, которые необходимо учитывать и закладывать в цифровую вычислительную систему при разработке и модернизации зенитных артиллерийских комплексов.

Ключевые слова: математическая модель, зенитный снаряд, зенитная артиллерия, зенитные артиллерийские комплексы, методика построения, модель движения снаряда.

MODEL OF MOVEMENT A SHELL AT SHOOTING ANTI-AIRCRAFT ARTILLERY COMPLEXES

O.M. Kononov, S.M. Piskunov, M.I. Oboronov

The mathematical model of movement of an artillery shell in air with the account of the most influential factors which operate on a shell in flight is developed. She allows to understand and analyse movement of shells of an anti-aircraft artillery in air and to determine deviations which are necessary for taking into account and pawning in the digital computing system for further development and upgrades of anti-aircraft artillery complexes.

Keywords: mathematical model, an anti-aircraft shell, an anti-aircraft artillery, anti-aircraft artillery complexes, a technique of construction, model of movement of a shell.