УДК 623.466.33

А. С. Дудуш, Р. Р. Сновидович, Р. М. Денисюк

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛІСТИЧНИХ РАКЕТ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ПАРАМЕТРИ КВАЗІБАЛІСТИЧНОЇ ТРАЄКТОРІЇ

Анотація. *Розвиток сучасних балістичних ракет супроводжується розширенням можливостей щодо формування траєкторії їх польоту, зокрема за рахунок використання керованих ділянок. Застосування квазібалістичних траєкторій дозволяє змінювати параметри польоту порівняно з класичною балістичною траєкторією. У зв'язку з цим особливого значення набуває визначення характеристик ракети, які найбільш суттєво впливають на параметри її польоту. Адекватність математичного моделювання траєкторії значною мірою залежить від точності вихідних характеристик ракети. Для розрахунку квазібалістичної траєкторії необхідно враховувати геометричні, вагові, аеродинамічні характеристики, параметри силової установки, а також характеристики активної та термінальної ділянок польоту. Взаємозв'язок зазначених параметрів визначає швидкість ракети, дальність польоту, апогей та форму траєкторії. Метою даного дослідження є аналіз основних характеристик балістичних ракет та визначення характеру їх впливу на параметри квазібалістичної траєкторії. Особливу увагу приділено параметрам, які визначають початкові умови балістичного руху та можливість керованої зміни траєкторії на термінальній ділянці.*

Ключові слова: *балістична ракета, квазібалістична траєкторія, активна ділянка, термінальна ділянка, аеродинамічні характеристики.*

Abstract. *The development of modern ballistic missiles has been accompanied by an expansion of the possibilities for shaping their flight trajectories, in particular through the use of guided sections. The use of quasi-ballistic trajectories makes it possible to alter flight parameters compared with a classical ballistic trajectory and to shape the required spatial trajectory of the missile's movement. In this context, it is particularly important to identify the missile's characteristics that have the most significant influence on its flight parameters. The accuracy of the mathematical modelling of the trajectory depends to a large extent on the precision of the missile's initial characteristics. To calculate a quasi-ballistic trajectory, it is necessary to take into account the geometric, mass and aerodynamic characteristics, the parameters of the propulsion system, as well as the characteristics of the boost and terminal phases of flight. The interrelationship between these parameters determines the rocket's speed, range, apogee and the shape of the trajectory. The aim of this study is to analyse the main characteristics of ballistic missiles and to determine the nature of their influence on the parameters of a quasi-ballistic trajectory. Particular attention is paid to the parameters that determine the initial conditions of ballistic motion and the possibility of a controlled change in trajectory during the terminal phase.*

Keywords: *ballistic missile, quasi-ballistic trajectory, boost phase, terminal phase, aerodynamic characteristics.*

Вступ

Розвиток сучасних засобів повітряно-космічного нападу характеризується розширенням можливостей формування траєкторій польоту балістичних ракет, зокрема застосуванням квазібалістичного руху. На відміну від класичної балістичної траєкторії, такий характер польоту передбачає можливість керованої зміни окремих її параметрів. Це зумовлює необхідність комплексного дослідження характеристик балістичних ракет, які визначають особливості їх руху та впливають на основні параметри траєкторії [1].

Адекватність математичного моделювання значною мірою залежить від достовірності вихідних даних. До основних характеристик, які необхідно враховувати, належать геометричні, вагові, енергетичні та аеродинамічні параметри, а також характеристики окремих ділянок польоту. Їх сукупний вплив визначає загальні характеристики руху ракети, зокрема дальність, апогей, тривалість польоту та просторову форму траєкторії [2 – 4].

Метою даного дослідження є аналіз основних характеристик балістичних ракет, систематизація параметрів, необхідних для математичного моделювання, та визначення їхнього загального впливу на характеристики квазібалістичної траєкторії.

Результати дослідження

У результаті аналізу встановлено, що характеристики балістичних ракет доцільно розподіляти на декілька основних груп: класові, геометричні, вагові, аеродинамічні та характеристики силової установки. Окремо виділяються параметри, що характеризують активну та термінальну ділянки траєкторії. Така класифікація дає змогу систематизувати вихідну інформацію та визначити призначення кожної групи характеристик у загальній математичній моделі [5, 6].

Класові характеристики, до яких належать дальність польоту та апогей, використовуються для загальної оцінки можливостей ракети та перевірки відповідності результатів математичного моделювання відомим даним. Геометричні параметри характеризують конструктивні особливості виробу та є основою для оцінювання його масових і аеродинамічних властивостей. Вагові характеристики визначають загальні динамічні властивості ракети, а також враховують зміну її маси протягом польоту [2, 3].

Важливу роль відіграють характеристики силової установки, які визначають енергетичні можливості ракети та особливості її руху на активній ділянці. Їх необхідно розглядати у взаємозв'язку з ваговими характеристиками, оскільки саме сукупність цих параметрів визначає загальні умови подальшого польоту після завершення роботи двигуна [4].

Окрему групу становлять аеродинамічні характеристики, які визначають особливості взаємодії ракети з атмосферою. Їх урахування є важливим для оцінювання впливу атмосферного середовища на рух ракети та достовірності математичного відтворення траєкторії. При цьому значення аеродинамічних параметрів можуть відрізнятися залежно від умов польоту, тому їх визначення потребує використання обґрунтованих вихідних даних [2 – 4].

Особливістю квазібалістичного руху є наявність додаткових параметрів, пов'язаних із характером зміни траєкторії на окремих ділянках польоту. Їх урахування дозволяє відобразити відмінності між класичним балістичним рухом та рухом із керованими змінами траєкторії. Таким чином, для дослідження квазібалістичного польоту недостатньо враховувати лише загальні характеристики ракети, оскільки важливе значення має також характер її руху протягом усього польоту [4].

Встановлено, що однією з основних проблем визначення характеристик ракет є обмеженість доступної технічної інформації. За таких умов важливого значення набуває систематизація відомостей із різних інформаційних джерел та оцінювання рівня їх достовірності. Доцільно розмежовувати безпосередньо отримані, непрямі, розрахункові та оцінені за аналогами дані. Це дозволяє уникнути змішування підтверджених характеристик із припущеннями та забезпечує більш об'єктивне оцінювання результатів дослідження [5].

Отже, характеристики балістичної ракети необхідно розглядати як взаємопов'язану систему, у якій геометричні, вагові, енергетичні та аеродинамічні властивості визначають загальні умови польоту, а параметри окремих ділянок характеризують особливості формування траєкторії. Саме комплексне врахування зазначених груп параметрів є важливою передумовою достовірного математичного моделювання.

Висновки

За результатами проведеного аналізу систематизовано основні групи характеристик балістичних ракет, які необхідно враховувати під час дослідження квазібалістичних траєкторій. Визначено, що достовірність математичного моделювання залежить від повноти вихідної інформації, узгодженості окремих параметрів та врахування їх взаємозв'язку.

Встановлено, що для дослідження квазібалістичного руху необхідно враховувати не лише загальні геометричні, вагові, енергетичні й аеродинамічні характеристики, а й особливості окремих ділянок траєкторії. Обґрунтовано важливість оцінювання достовірності вихідних даних, особливо за умов обмеженості відкритої технічної інформації.

Таким чином, комплексний аналіз характеристик балістичних ракет створює необхідну основу для оцінювання параметрів квазібалістичних траєкторій та підвищення обґрунтованості результатів їх математичного моделювання.

Список використаних джерел:

1. Бережний, А. О., Дудуш, А. С., Сновидович, Р. Р. (2023). Аналіз гіперзвукових літальних апаратів як цілей для систем протиповітряної/ протиракетної оборони. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, 3 (52), 7-12. https://doi.org/10.30748/nitps.2023.52.01.

2. Zarchan, P. (2012). Tactical and Strategic Missile Guidance. 6rd ed. American Institute of Aeronautics and Astronautics. P. 982.

3. Fleeman, E. L. (2001). Tactical Missile Design. American Institute of Aeronautics and Astronautics. P. 267.

4. Dudush, A., Snovydovych, R. (2025). Comprehensive Mathematical Model of the Ballistic Trajectory of an Operational-Tactical Missile. *Military Science*, 3(4), 257 - 266. https://doi.org/10.62524/msj.2025.3.4.20.

5. Schiller M. Missile Identification and Assessment. London : *International Institute for Strategic Studies* (IISS), 2022. 36 p.

6. Schmucker R. H., Schiller M. Raketenbedrohung 2.0 : Technische und politische Grundlagen. Hamburg ; Bonn : E. S. Mittler & Sohn, 2015. P. 408. ISBN 978-3-8132-0956-3.

Дудуш Анатолій Сергійович *– кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри бойового застосування зенітного ракетного озброєння з відкритою архітектурою факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: a.dudush@m.hnups.mil.gov.ua ORCID https://orcid.org/0000-0002-8454-2127.*

Сновидович Роман Романович *– ад'юнкт штатний відділення підготовки та атестації наукових і науково-педагогічних кадрів науково-організаційного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: r.snovydovych@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0009-8448-3508.*

Денисюк Родіон Миколайович *– слухач факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: pr.rodionp@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0004-3041-6573.*

Anatoliy Serhiyovych Dudush *– PhD in Engineering, Head of Department of Combat Use of GBAD Systems with Open Architecture of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: a.dudush@m.hnups.mil.gov.ua ORCID https://orcid.org/ 0000-0002-6337-1357.*

Roman Romanovych Snovydovych *– Post-graduate of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: r.snovydovych@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0009-8448-3508.*

Rodion Mykolayovych Denysiuk *– student from the Faculty of Anti-Aircraft Missile Troops of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., Building 77/79, Ind. 61023, e-mail: pr.rodionp@gmail.com ORCID https://orcid.org/0009-0004-3041-6573.*