

УДК 623.54

**ГЕОМЕТРИЧНІ АСПЕКТИ ЗМІНИ ПЛОЩІ ПРОЕКЦІЇ СНАРЯДУ ДО НОРМАЛЬНОЇ ПЛОЩИНИ КРИВОЛІНІЙНОЇ ТРАЄКТОРІЇ ПОЛЬОТУ****Котляр Д. В.***кандидат технічних наук,**доцент без вченого звання кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та інженерної графіки**Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова  
м. Миколаїв, Україна  
yardnight@gmail.com*

У роботі розглядається аспекти зміни характерної площі проекції снаряду під час польоту, з метою пошуку аналітичних моделей коефіцієнту лобового опору при уточненні балістичних розрахунків. Дослідження проводиться для балістичних снарядів з використанням методу ортогонального проєціювання.

**Ключові слова:** проєкція, площа проєкції, коефіцієнт лобового опору, снаряд.

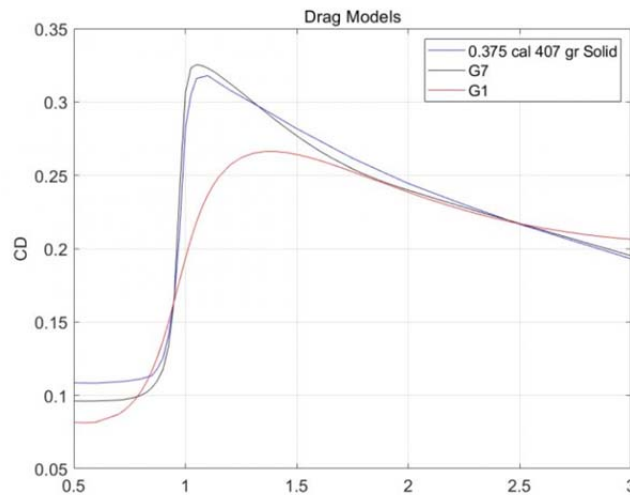
Досить поширеним методом дослідження при вирішенні задач зовнішньої балістики, є використання пакетів обчислювальної газодинаміки, які надають можливість побудувати ряд розрахункових моделей, відтворити цільове явище пострілу та отримати шукані параметри з візуалізацією динамічного процесу пострілу. Однією з таких задач є дослідження польоту балістичного снаряду, з метою отримання оптимальної аеродинамічної форми снаряду. Яка дозволить досягнути найбільшу дальність польоту снаряду. Такий снаряд повинен мати найнижчий коефіцієнт лобового супротиву на всій траєкторії польоту. При моделюванні процесу польоту снаряду та оцінці ефективності його форми дуже важливою є його діаграма моделі сили лобового опору[1] або драг модель. Вона являє собою залежність сили лобового опору снаряду до його швидкості у відносних одиницях. Прийнято вираховувати швидкість снарядів у одиницях Маха. Ця діаграма, традиційно, визначається емпірично у полігонних умовах під час фактичних замірів швидкості снаряду під час його польоту.

Відомо, що коефіцієнт лобового опору не є сталим на всій траєкторії польоту (Рис.1)[2]. Однією з вагомих причин виникнення цього явища є зміна площі снаряду у плані, що зумовлено гіроскопічною стабілізацією кулі та кривизною її траєкторії польоту. Завдяки гіроскопічній стабілізації снаряд більшу частину траєкторії летить під кутом, який снаряд отримує при вильоті зі ствола і він співпадає з лінією кидання[1]. Це допомагає стабілізувати снаряд від перекидання. Як видно з Рис. 2 вісь кулі не співпадає з дотичною траєкторії польоту снаряду. Так як кут між вектором руху снаряда (дотична до траєкторії, див. рис. 2) та вектором осі снаряду зростає, то характерна площа проекції снаряду на нормальну площину кривої змінюється на всій траєкторії польоту. Зміна характерної площини проекції відповідно обумовлює зміну сили лобового опору снаряду, див. формулу 1:

$$F_d = C_d \cdot P_d \cdot S_f, \quad (1)$$

де  $C_d$  – коефіцієнт лобового опору снаряду,  $F_d$  – сила лобового опору,  $P_d$  – динамічний тиск на снаряд,  $S_f$  – характерна площа проекції снаряду на нормальну площину кривої траєкторії польоту.[2].

За звичай зміну лобового супротиву враховують у так званому балістичному коефіцієнті (BC) снаряду, який надає виробник. З огляду на те, що BC визначається виробником емпірично, доцільно розглянути зміну характерної площі снаряду на всій траєкторії польоту для наступного визначення аналітичної моделі зміни площі проекції снаряду в плані.



Швидкість  
снаряду у  
дульному зрізі  
3 Маха

Рис. 1 Діаграма зміни лобового опору  $C_d$  в залежності від швидкості снаряду  $M$

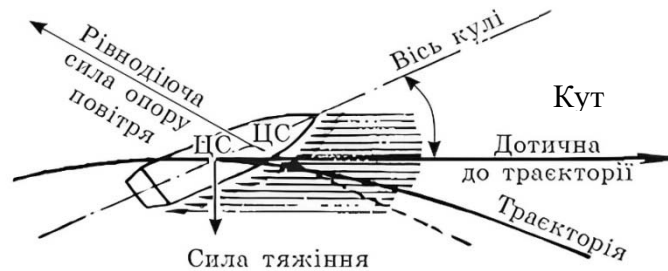


Рис. 2 Сили, що діють на снаряд

Метою цього дослідження є пошук аналітичної моделі зміни площі проекції тривимірного тіла на нормальну площину кривої траєкторії від кута його повороту до площини проєціювання, яку можна було б використовувати для визначення зміни коефіцієнту лобового опору при уточненні ВС.

Розуміючи, що тривимірне тіло може бути повернуто навколо трьох осей інерції на 360 градусів треба означити граничні умови пошуку аналітичних моделей. З урахування поставленої мети надалі буде розглянуто умовний поворот снаряду навколо осі інерції  $I_z$  до площини проєкції (див. рис. 3).

Відомо, що снаряд летить по дугоподібній траєкторії [1, 3]. Маючи гіроскопічну стабілізацією, яку снаряд одержує вилітаючи з нарізного ствола, снаряд пролітає траєкторію з постійним кутом нахилу гіроскопа. Маючи діаграми траєкторій польоту снарядів можна визначити діапазон кута девіації вектору сили аеродинамічного опору, порівнявши кут кидання снаряду  $\vec{v}$  з кутом дотичної траєкторії  $\vec{t}$  в кінцевій точці,

Розглянемо траєкторію снаряду на прицільну відстань у 1400 м. На Рис. 4 наведено траєкторію польоту снаряду .338 Lapua Mag. SWISS P Target 16,2 g / 250 gr, яка була надана виробником [3]. Провівши аналіз кривої траєкторії було розраховано, що кут девіації вектору сили аеродинамічного опору дорівнює  $37,46^\circ$ . Приймаючи до уваги можливу прецесійну нестабільність снаряду, що приводить до конусоподібного руху снаряду, цей кут може змінюватися на  $\pm 15^\circ$  при відсутності достатньої динамічної стабілізації [5]. Тобто сумарний по модулю кут девіації вектору сили аеродинамічного опору потрібно розглядати як такий що може досягати  $52^\circ$ . Треба зазначити, що на практиці, аеродинамічний опір зазвичай діє вздовж лінії руху снаряду, тобто вздовж напрямку його руху. Кути девіації сили аеродинамічного

опору значною мірою не перевищують кілька градусів, за умови відсутності гіроскопічної перестабілізації, яка підвищує точність попадання снаряду у ціль та забезпечує більш передбачуваний політ під час руху через атмосферу.

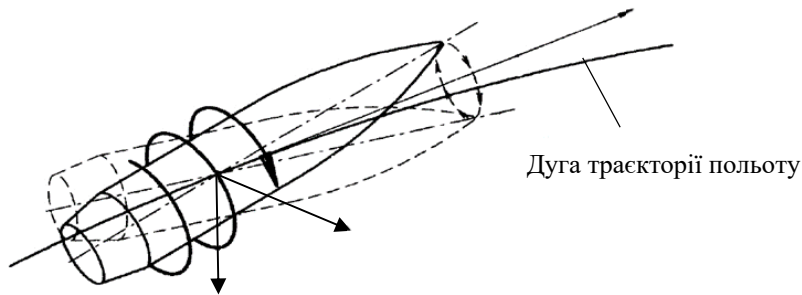


Рис. 3 Осі моментів інерції снаряду

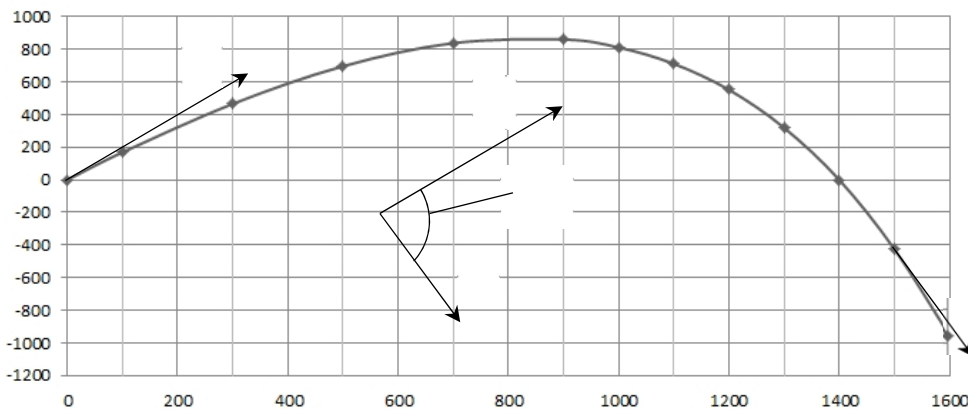


Рис. 4 Траєкторія польоту снаряду з прицільною дальністю 1400м:  $\gamma$  – кут девіації сили опору,  $\vec{v}$  – вектор осі гіроскопа,  $\vec{t}$  – вектор дотичної до траєкторії руху снаряду.

Розглянемо графік зміни характерної площі снаряду від кута девіації вектору сили опору рис. 5.

Як видно з графіка на рис.5 на всьому шляху польоту снаряду характерна площа проекції снаряда на нормальну площину кривої траєкторії польоту може збільшуватися до 5 разів, відповідну порівняльну таблицю наведено в таблиці 1.

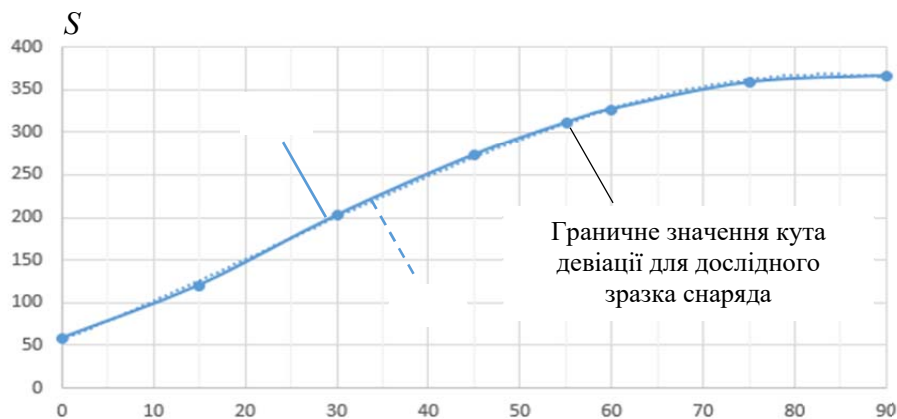


Рис. 5. Графік залежності характерної площі снаряда від кута девіації

**Таблиця 1**

|   |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Кут девіації, $\gamma$ град   | 0     | 15    | 30    | 45    | 55    | 60    | 75    | 90    |
| Характерна площа $S_f$ , мм <sup>2</sup>                            | 58.35 | 120.3 | 202.2 | 273.2 | 311.4 | 326.5 | 358.1 | 365.8 |
| Розрахунок за аналітичною моделлю площі $S_{f_m}$ , мм <sup>2</sup> | 58.35 | 127.6 | 200.9 | 268.4 | 304.9 | 319.6 | 344.7 | 333.4 |
| Коефіцієнт збільшення площі   | 1     | 2.01  | 3.46  | 4.68  | 5.33  | 5.60  | 6.14  | 6.27  |

Такий суттєвий приріс характерної площі значно впливає на силу лобового опору снаряда та, як результат, на аеродинамічну ефективність снаряду та дальність польоту. Використання моделі розрахунку характерної площі снаряду та драг діаграми сили лобового опору снаряда, дозволяю уточнити зміну коефіцієнту лобового опору по всій траєкторії польоту, виявити проблемні її сегменти. Що допоможе оптимізувати форму снаряду та уточнити балістичний коефіцієнт засобами обчислювальної газодинаміки.

### Література

- [1]. Данилин Г.А., Огородников В.П., Заволокин А.Б. Основы проектирования патронов к стрелковому оружию. Учебник – Балт. гос. техн. ун-т. СПб, 2005. – 374 с. ISBN 5-85546-139-4
- [2]. Bryan Litz: "Aerodynamic Drag Modeling for Ballistics" Applied Ballistics, LLC, Cedar Springs, – MI: 2016. – 13 с.
- [3]. [https://www.swiss-p.com/images/content/products/Factsheets/8020\\_338\\_Lapua\\_Mag\\_SWISS\\_P\\_Target\\_16.2\\_g\\_-\\_250\\_gr\\_EN.pdf](https://www.swiss-p.com/images/content/products/Factsheets/8020_338_Lapua_Mag_SWISS_P_Target_16.2_g_-_250_gr_EN.pdf).
- [4]. Nennstiel, R., "How do bullets fly", AFTE Journal, Vol.28, No.2, April 1996, P.104-143.

### Geometric aspects of projected area variation of a projectile to the normal plane of flight curved trajectory

Dmytro Kotliar

Admiral Makarov National University of Shipbuilding c. Mykolaiv, Ukraine

**Summary.** The paper addresses the aspects of changing the characteristic projection area of a projectile during flight with the aim of seeking analytical models for the drag coefficient refinement in ballistic calculations. The research is conducted for ballistic projectiles using the method of orthogonal projection.

**Keywords:** projection, projection plane, drag coefficient, projectile.

УДК 621.9.06.004.1:658.512.2

### АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНОЇ ОСНАСТКИ

**Поліщук В. А.**

*кандидат технічних наук,*

*доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування  
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова  
м. Миколаїв, Україна, vitpolishchuk@gmail.com*

**Ніколаєв О. Л.**

*кандидат технічних наук,*

*доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування  
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова  
м. Миколаїв, Україна, aleksnikolaiev@gmail.com*