

Ա.Հ. ԲԱՂԻՅԱՆ, Հ.Է. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ՀՐԹԻՌՆԵՐԻ ԱՐՏԱՔԻՆ ԶԳԱԲԱՆՈՒԹՅԱՆ ԹՎԱՅԻՆ ՍՈՐԵԼԱՎՈՐՄԱՆ
ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ ՀԱՐՑԵՐԸ Մ-210Ֆ ՀՐԹԻՌԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ

Թվային մոդելավորման եղանակով հրթիռների արտաքին ձգաբանության հավասարումների լուծման համար մշակված համակարգչային ծրագրի կիրառմամբ ուսումնասիրվել են ստացվող արդյունքների շեղումները հեռահարության աղյուսակներում բերված տվյալներից՝ Մ-210Ֆ հրթիռի օրինակով: Ցույց է տրվել մշակված համակարգչային ծրագրի կիրառելիությունը իրական խնդիրներում՝ աղյուսակային տվյալների բացակայության դեպքում, ինչպես նաև նոր հրթիռների մշակման փուլում դրանց հեռահարությունը գնահատելու և ձգաբանական աղյուսակներ կազմելու համար:

Առանցքային բառեր. արտաքին ձգաբանություն, հրթիռի աերոդինամիկա, հաշվողական մեթոդներ, թվային մոդելավորում:

Ներածություն: Հրթիռային կրակի վարման համար լայնորեն կիրառվում են դրանց ձգաբանական աղյուսակների վրա հիմնված լուծումները, որոնք իրականացվում են ձեռքով կատարվող հաշվարկներով, իսկ այժմ՝ նաև ծրագրային մեթոդներով: Վերջիններս, օգտագործելով հրթիռների ձգաբանական աղյուսակների տվյալները, կատարում են ինտերպոլացիա և մոտարկումներով վերադարձնում հաշվարկային արդյունքները:

Ժամանակակից պայմաններում թվային մոդելավորում իրականացնող ծրագրային լուծումներում հնարավոր է ինտեգրել հրթիռի շարժման հավասարումները՝ թվային ինտեգրման հայտնի հաշվարկային մեթոդներով: Դրա համար անհրաժեշտ է ունենալ հրթիռի և նրանում եղած վառելիքի քառաիններցիոն բնութագրերը, վերջիններիս կախումը ժամանակից, հրթիռի աերոդինամիկական բնութագրերը և դրանց կախումը շրջահոսող օդի արագությունից, շարժիչի քարշուծի կախումը ժամանակից, արձակող կայանքի և դրա ուղղորդողի բնութագրերը, ինչպես նաև արձակման տեղանքին և առկա օդերևութաբանական պայմաններին վերաբերող պայմանները: Հրթիռների քառաիններցիոն բնութագրերը կարելի է գտնել համապատասխան գրականությունում կամ հաշվարկել ավտոմատացված նախագծման համակարգերի միջոցով՝ դրանց եռաչափ մոդելների և դրանցում կիրառվող նյութերի մասին եղած տվյալների հիման վրա, իսկ հրթիռային

քարշուժային բնութագրերը կարելի գտնել ներքին ձգաբանության մեթոդներով՝ հիմնվելով դրանցում կիրառվող վառելիքի, այրման խցիկի և հրափողի երկրաչափական բնութագրերի վրա:

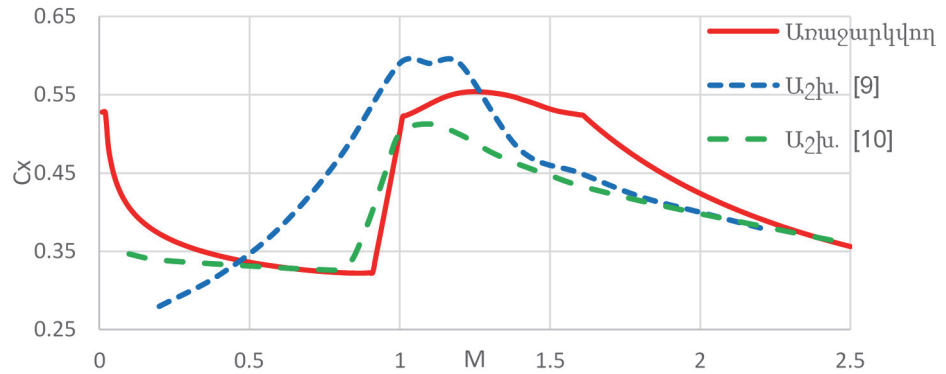
Աերոդինամիկական բնութագրերի ստացման համար կիրառվում են աերոդինամիկական խողովակներ, հրթիռների աերոդինամիկային վերաբերող տեսական մեթոդների և փորձարարական տվյալների համադրման հիման վրա մշակվող կիսաէմպիրիկ մեթոդներ [1-7], ինչպես նաև հեղուկների հաշվողական դինամիկայի մեթոդներով մարմնի շրջահոսումը օդով մոդելավորող համակարգչային ծրագրեր [8, 9]:

Հրթիռների թռիչքի թվային մոդելավորումը թույլ է տալիս կատարել հաշվարկներ ինչպես աղյուսակային կետերի միջակայքում՝ առանց մոտարկումների, այնպես էլ այդ կետերից դուրս, ինչը անհնար է աղյուսակների հիման վրա մշակված լուծումներում: Բացի այդ, հրթիռի օպտիմալ լուծումներին միտված նախնական և վերջնական մշակումների իրականացումը, ինչպես նաև հեռահարության աղյուսակների կազմումը՝ հենվելով միայն ռեալ փորձարկումների վրա, շատ ծախսատար է և ժամանակատար: Թվային մոդելավորումն էապես հեշտացնում է մշակման պրոցեսը և հանգեցնում ավելի բարձրորակ արդյունքի ավելի սեղմ ժամկետներում: Հետևաբար՝ հրթիռների մշակման համար դրանց արտաքին ձգաբանության հաշվարկներում թվային մոդելավորում կիրառելը և այդպիսի մոդելավորման մեթոդների կատարելագործումը խիստ կարևոր արդիական խնդիր է:

Հաշվողական սխեման: Հետազոտական աշխատանքի ընթացքում մշակված ծրագրային ապահովման մեջ առկա է հրթիռի աերոդինամիկական բնութագրերի կիսաէմպիրիկ հաշվարկային մաս՝ հիմնված հրթիռների աերոդինամիկայի տեսական և փորձարարական մոտեցումների [3-9] վրա: Առկա է նաև հնարավորություն այլ՝ փորձարարական կամ հեղուկների հաշվողական դինամիկայի մեթոդներով ստացված աերոդինամիկական բնութագրերի ներմուծման համար: Դա հրթիռների արտաքին ձգաբանության հաշվման համար մեր կողմից մշակված համակարգչային ծրագիրը դարձնում է ունիվերսալ՝ ցանկացած ձևի ու չափերի հրթիռի դեպքում, քանի որ բացառում է այն սահմանափակումները, որոնք պայմանավորված են աերոդինամիկական բնութագրերի հաշվման համար ծրագրում ներդրված կիսաէմպիրիկ հաշվարկային մասի կիրառելիության սահմաններով:

Մ-210Ֆ հրթիռի աերոդինամիկական դիմադրության ուժի C_x գործակցի կախումը թռիչքի արագությունից (Մախի M թվից)՝ ստացված աերոդինամիկական տեսական և փորձարարական մոտեցումների կիրառմամբ, ներկայացված են [10]-ում, իսկ [2]-ում բերված են արդյունքներ, որոնք ստացվել են հեղուկների հաշվողական դինամիկայի մեթոդների կիրառմամբ: Նկ. 1-ում բերված են վերոնշյալ

աշխատանքներում ստացված գործակիցների գրաֆիկները՝ առաջարկվող կիսաէմպիրիկ լուծմամբ ստացված գրաֆիկի հետ համեմատելու համար:



Նկ. 1. Մ-210Ց հրթիռի դիմադրության ուժի գործակիցի կախվածությունը թռիչքի արագությունից՝ ներկայացված Մախի թվերով

Մշակված համակարգչային ծրագիրն իրականացնում է հրթիռի թռիչքի դինամիկայի հաշվարկներ՝ հիմնվելով ստացված կամ ներմուծված աերոդինամիկական բնութագրերի, հրթիռի քաշափնեքցիոն և դրա շարժիչի քարշուժային բնութագրերի վրա, շարժման փողային (1), ակտիվ (2) և պասսիվ (3) փուլերի համար համապատասխանաբար հետևյալ հավասարումների միջոցով.

$$v_0 = \frac{1}{m_0} \int_0^{t_0} T dt, \quad (1)$$

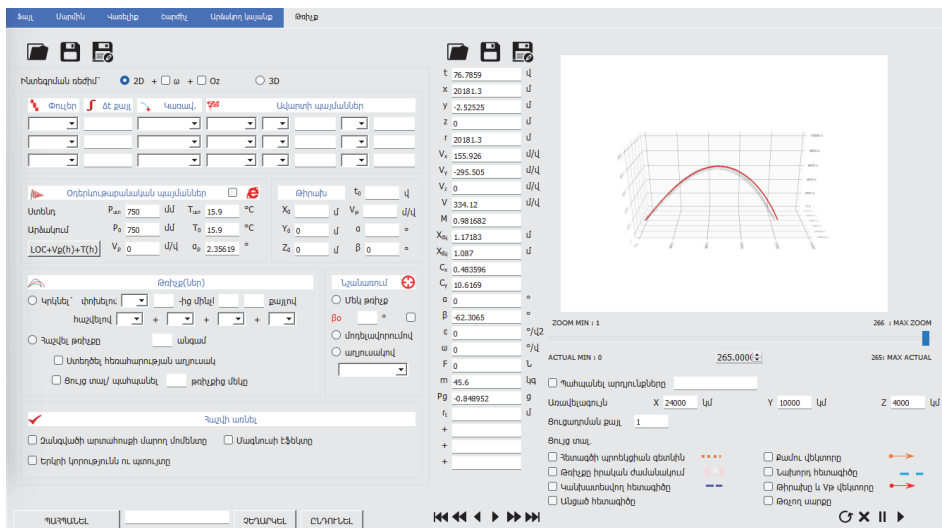
$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = \frac{T}{m} - C_x \frac{\rho_H v^2}{2} S - g \sin \lambda, \\ \frac{d\lambda}{dt} = -\frac{g}{v} \cos \lambda, \\ \frac{dx}{dt} = v \cos \lambda, \\ \frac{dy}{dt} = v \sin \lambda, \\ \frac{dm}{dt} = \frac{m_k - m_0}{t_k}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = -C_x \frac{\rho_H v^2}{2} S - g \sin \lambda, \\ \frac{d\lambda}{dt} = -\frac{g}{v} \cos \lambda, \\ \frac{dx}{dt} = v \cos \lambda, \\ \frac{dy}{dt} = v \sin \lambda, \end{cases} \quad (3)$$

որտեղ v_0 -ն արձակման կայանքի փողից դուրս գալու արագությունն է, m_0 -ն՝ հրթիռի մեկնարկային զանգվածը, t_0 -ն՝ փողային փուլի տևողությունը, m -ը՝ հրթիռի զանգվածը, m_k -ն՝ թռիչքի ակտիվ մասի վերջում հրթիռի զանգվածը, v -ն՝ թռիչքի

արագությունը, λ -ն՝ հրթիռի հետագծի թեքման անկյունը հորիզոնի նկատմամբ, C_x -ը՝ հրթիռի դիմադրության ուժի գործակիցը, ρ_H -ը՝ օդի խտությունը H բարձրության վրա (հաշվարկվում է՝ համաձայն միջազգային ստանդարտ մթնոլորտի), S -ը՝ հրթիռի միդելի հատույթի մակերեսը, g -ն՝ ազատ անկման արագացումը, T -ն՝ հրթիռի շարժիչի քարշուժը, x -ը և y -ը՝ հրթիռի ծանրության կենտրոնի կոորդինատները արձակման կետի նկատմամբ, իսկ t_k -ն՝ հետագծի ակտիվ մասի (շարժիչի աշխատանքի) տևողությունը:

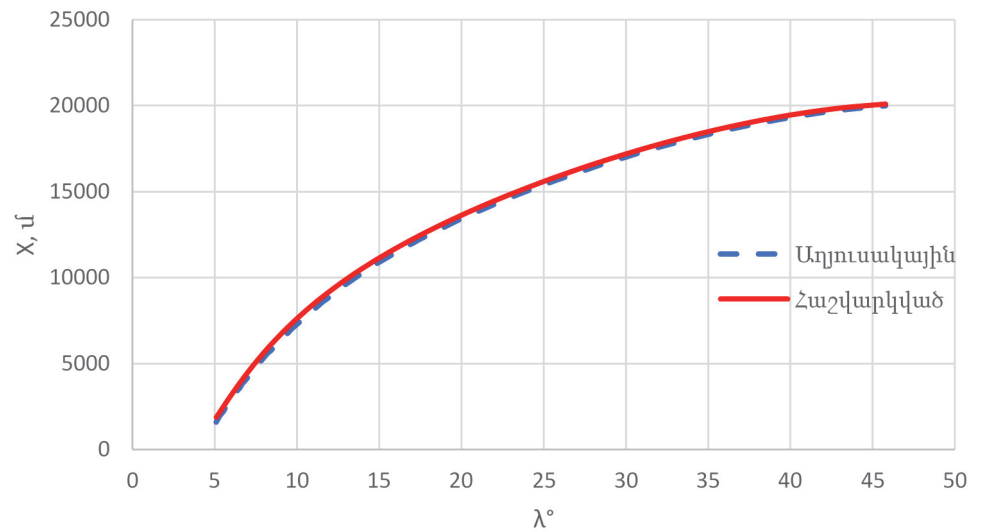
Մշակված համակարգչային ծրագրի միջոցով ստացված Մ-210Ֆ հրթիռի թռիչքի հետագիծը առավելագույն հեռահարության դեպքում ներկայացված է նկ. 2-ում:



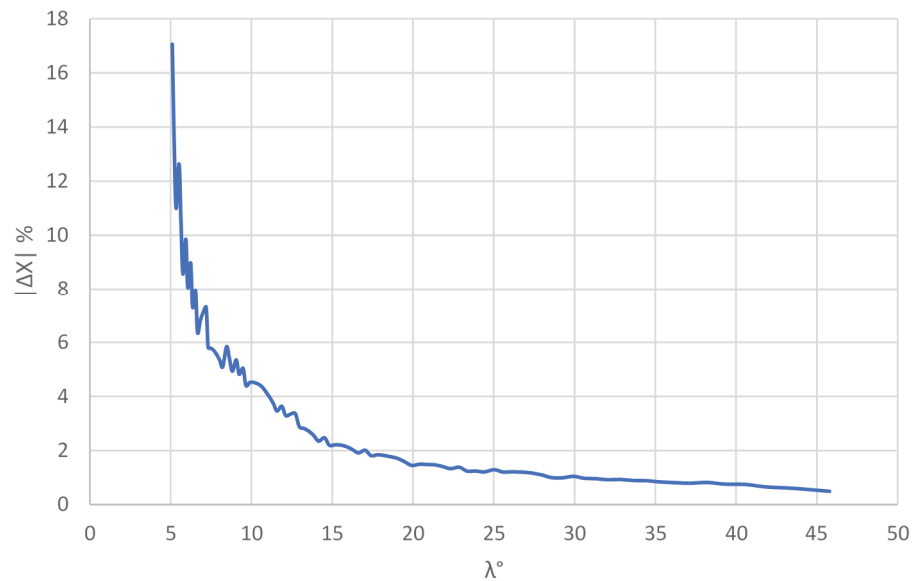
Նկ. 2. Մ-210Ֆ հրթիռի թռիչքի հետագիծը՝ մշակված համակարգչային ծրագրի գրաֆիկական ինտերֆեյսում

Արդյունքների ամփոփում: Հիմնվելով Մ-210Ֆ հրթիռի հեռահարության աղյուսակներում [11] ներկայացված տվյալների վրա՝ մշակված համակարգչային ծրագրով իրականացվել է դրա թռիչքի մոդելավորում արձակման աղյուսակային անկյունների համար, և ստացված հեռահարությունները համեմատվել են աղյուսակային արժեքների հետ:

Աղյուսակային և առաջարկվող լուծման միջոցով ստացված հեռահարությունները՝ կախված արձակման անկյուններից (ծովի մակարդակից արձակելու պարագայում), ներկայացված են նկ. 3-ում, իսկ ստացված հեռահարությունների հարաբերական շեղումները, աղյուսակային տվյալներից տոկոսային արտահայտմամբ, կախված արձակման անկյուններից, բերված են նկ. 4-ում:



Նկ.3. Հեռահարության կախվածությունը արձակման անկյունից



Նկ. 4. Հաշվարկված հեռահարությունների հարաբերական շեղումները համապատասխան աղյուսակային տվյալներից

Ստացված շեղումները (միջին հարաբերական բացարձակ շեղումը՝ 3,6%, բացարձակ շեղումների տիրույթը՝ 0.49...17,06%) մոտ են [10]-ում ներկայացված մոդելավորման շեղումների սահմաններին (10 %):

Առաջարկվող լուծման մեջ շեղումների ստացումը մեծ մասամբ պայմանավորված է փողից հրթիռի դուրս գալու ընթացքում փողի առանցքի նկատմամբ

հրթիռի թեքումը մոդելավորող ճշգրիտ եռաչափ մոդելավորման բացակայությամբ և որպես մուտքային տվյալ կիրառվող բնութագրերում առկա շեղումներով. մասնավորապես՝ էական դեր են խաղում աերոդինամիկական բնութագրերի հաշվարկման համար կիրառված կիսաէմպիրիկ հաշվարկային մասի անճշտությունները:

Եզրակացություն: Մշակված ծրագրային լուծումն իրականացնում է հրթիռների թռիչքի դինամիկայի մոդելավորում և կարող է կիրառվել դրանց նախնական մշակման, հեռահարության աղյուսակներ ստեղծելու և կրակի կառավարման ավտոմատացված համակարգերի մշակման համար: Հրթիռների մշակման փուլում այն թույլ է տալիս գնահատել դրանց հեռահարությունը, դրա կախվածությունը տարատեսակ կառուցվածքային պարամետրերից, իրականացնել դրանց օպտիմալացում և կազմել հեռահարության աղյուսակներ: Մ-210Ֆ հրթիռի օրինակով ստացված արդյունքները ցույց են տալիս առաջարկվող լուծումների կիրառելիությունը իրական պայմաններում իրական հրթիռների դեպքում:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ գիտության կոմիտեի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 21DP-1B018 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Hemsh M.J.** Tactical Missile Aerodynamics: General Topics.- American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992. – 731 p.
2. **Hemsh M.J., Mendenhall M.** Tactical missile aerodynamics: Prediction methodology.- American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992. – 766 p.
3. **Петров К.П.** Аэродинамика ракет. – М.: Машиностроение, 1977. – 136 с.
4. **Петров К.П.** Аэродинамика элементов летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
5. **Краснов Н.Ф.** Аэродинамика. Ч. II. Методы аэродинамического расчета. – М.: Высшая школа, 1980. – 416 с.
6. **Краснов Н.Ф.** Основы аэродинамического расчета: Аэродинамика тел вращения, несущих и управляющих поверхностей. Аэродинамика летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1981. – 496 с.
7. **Григорьев В.Г., Филиппов В.Б.** Синтез оптимального облика и оценка боевых возможностей управляемой ракеты “воздух-воздух” / Под ред. И.Е. Казакова. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1986. – 99 с.
8. **Eltaj A., Darag S.A.** Aerodynamic Coefficients Investigation of GRAD Rocket Using Computational Fluid Dynamics// Journal of Engineering and Computer Science (JECS).-2021.- 22(3).- P.9-18.
9. **Tun N.L., Thuri M., Li Z.** Aerodynamic Coefficients Prediction for 122 mm Rocket by Using Computational Fluid Dynamics// In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.- IOP Publishing, 2020.- Vol. 816, N1.-P.012010.

10. Антуневич А.Л., Ильёв И.Г. Оценка эффективности стрельбы подразделений реактивной артиллерии при целенаправленном изменении параметров рассеивания снарядов// Сборник научных статей Военной академии Республики Беларусь.- 2017.- № 32.- С. 12-21.
11. ТС-74Г Выдержки (Таблицы стрельбы ОФ-реактивными снарядами М-21ОФ из БМ-21 (ТС-74Г)). [Электронный ресурс], URL: https://vk.com/doc12087859_412622814?hash=9qzZlEnzzh4GHubMOavDjqMJLyNZQbfO9RIztR8ivJk (дата обращения: 23.07.2023).

ՄՊԸ «Իմպուլս»-ի, ԵՊՀ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 18.07.2023:

А.А. БАГИЯН, О.Э. САРГСЯН, А.А. ГРИГОРЯН

ВОПРОСЫ ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ БАЛЛИСТИКИ РАКЕТ НА ПРИМЕРЕ РАКЕТЫ М-21ОФ

На примере ракеты М-21ОФ исследованы отклонения результатов, полученных в результате применения компьютерной программы, разработанной для решения уравнений внешней баллистики ракет методом численного моделирования. Показана применимость разработанной компьютерной программы в реальных задачах в случае отсутствия табличных данных и при разработке новых типов ракет для оценки их дальноточности и составления баллистических таблиц.

Ключевые слова: внешняя баллистика, аэродинамика ракет, вычислительные методы, численное моделирование.

A.H. BAGHIYAN, H.E. SARGSYAN, A.A. GRIGORYAN

THE ACCURACY OF NUMERICAL SIMULATION OF HUROKET EXTERNAL BALLISTICS BASED ON THE EXAMPLE OF THE M-21OF ROCKET

Using the example of the M-21OF rocket, the deviations of the results obtained by the software developed for solving the equations of external ballistics of rockets by computational methods, are investigated. The applicability of the developed software in real problems in case of the absence of tabular data and during the development of new types of rockets for evaluating their range and compiling ballistic tables is shown.

Keywords: external ballistics, rocket aerodynamics, computational methods, numerical simulation.