

T. İ. İSMAYILOV

Heydər Əliyev adına Azərbaycan Ali Hərbi Məktəbi
E-mail: tahir.6591@gmail.com

KORİOLİS QÜVVƏSİNİN GÜLLƏNİN HƏRƏKƏT
TRAYEKTORİYASINA TƏSİRİ HAQQINDA

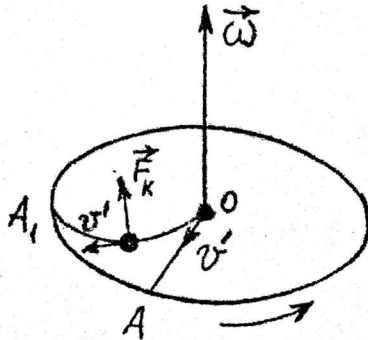
Məqalədə müxtəlif çaplı silahlardan atış zamanı, Koriolis qüvvəsinin güllənin və ya mərmirin hərəkət trayektoriyasına təsiri M-46 uzaq vuran topu və SVD snayper tüfəngi nümunəri əsasında hesablanmışdır.

Açar sözlər: Koriolis qüvvəsi, ətalət, qeyri-ətalət, təcil, güllə, hərəkət, trayektoriya, fırlanma, Fuko rəqqası.

Bir qayda olaraq müəyyən bucaq sürəti ilə fırlanan hesablamada yerləşən cismə təsiri nəzərdən keçirərkən cismin fırlanan sistemə görə sükunətdə olduğu qəbul edilir. Bir çox hallarda isə fırlanan sistemə nəzərən müəyyən irəliləmə hərəkəti edən cismin hərəkətinə də baxmaq lazım gəlir.

Fırlanan sistemlərə nəzərən hərəkət edən cisimlərə, məsələn, Yer üzərində hərəkət edən adamlara, nəqliyyat vasitələrinə, axan çaylara mərkəzəqaçma ətalət qüvvəsindən əlavə, başqa qüvvə də təsir edir. Bu qüvvəni ilk dəfə olaraq fransız alimi Koriolis (1795-1843) təyin etmişdir, yəni fırlanan sistemlərə nəzərən hərəkət edən cisimlərə Koriolis və ya Koriolis ətalət qüvvəsi adlanan digər bir qüvvə də təsir edir [1].

Koriolis qüvvəsinin yaranmasını aşağıdakı misaldə nəzərdən keçirək. Kürəcik üfüqi müstəvidə şaquli ox ətrafında fırlanan disk üzərində O nöqtəsindən A istiqamətində θ' sürətilə hərəkət edir (şəkil 1):



Şəkil 1.

Disk fırlanmadıqda kürəcik OA düz xətti boyunca hərəkət edəcəkdir. Diski hərəkətə gətirib fırlatsaq, onda kürəciyin trayektoriyası OA_1 əyrisi olacaq və onun diska nəzərən nisbi sürəti $\dot{\theta}$ istiqamətini də dəyişəcək. Kürəciyin fırlanan sistemdə hərəkəti, onun $\dot{\theta}$ sürətinə perpendikulyar istiqamətə yönələn (F_k) Koriolis qüvvəsinin təsiri altında baş verir.

Xüsusi halda Koriolis qüvvəsinin riyazi ifadəsini nəzərdən keçirək. Fərz edək ki, m kütləli kürəcik üfüqi müstəvidə şaquli ox ətrafında fırlanan disk üzərində O nöqtəsindən A istiqamətində $\dot{\theta}$ sürətilə hərəkət edir. Kürəciyin sükunətdə olan (ətalət) hesablamada sistemində nəzərən $\dot{\theta}$ sürəti fırlanma istiqamətindən asılı olaraq $\dot{\theta} + \omega R$ və ya $\dot{\theta} - \omega R$ olacaqdır, ω -sistemin fırlanma bucaq sürəti, R -çevrənin radiusudur. Kürəciyin sükunətdə olan sistemə nəzərən: $\dot{\theta} = \dot{\theta} + \omega R$ sürətilə hərəkət etməsi üçün çevrənin mərkəzinə doğru yönəlmiş F qüvvəsi təsir etməlidir, bu qüvvənin qiyməti:

$$F = ma_n = m\dot{\theta}^2 = m(\dot{\theta} + \omega R)^2 / R \quad (1)$$

Bu halda kürəcik fırlanan sistemə nəzərən $e_n: a_n' = \frac{\dot{\theta}^2}{R}$ təcili ilə hərəkət edəcəkdir ki, sanki ona $ma_n' = \frac{m\dot{\theta}^2}{R} = F - 2m\dot{\theta}\omega - m\omega^2 R$ qüvvəsi təsir edir.

Beləliklə, kürəcik fırlanan sistemdə ona çevrənin mərkəzinə doğru yönəlmiş F qüvvəsindən əlavə həm də $F_m = m\omega^2 R$ və modulu $2m\dot{\theta}\omega$ olan F_k Koriolis qüvvəsi də təsir edəcəkdir.

Koriolis qüvvəsi: $F_k = 2m[\dot{\theta}'\omega]$ vektorial hasilinə bərabərdir. Kürəciyin nisbi sürətinin istiqaməti fırlanmanın əksinə olduqda da Koriolis qüvvəsinin modulunun qiyməti dəyişmir, ancaq istiqaməti dəyişir.

Yer öz oxu ətrafında fırlandığından, ona fırlanan sistem kimi baxılır. Belə olduqda Yer üzərində hərəkət edən bütün cisimlərə Koriolis qüvvəsi təsir göstərir və bu təsirin nəticəsi müşahidə edilir. Məsələn üçün, çaylar cənub yarımkürəsində cənuba, şimal yarımkürəsində isə şimala axdığından çayın axımı istiqamətində baxdıqda cənub yarımkürəsində sol, şimal yarımkürəsində isə sağ sahillərinin nisbətən çox yuyulması baş verir ki, bu Koriolis qüvvəsinin təsiri ilə izah olunur.

Qatarların hərəkət istiqamətində qütblərə doğru baxdıqda şimalda sağ, cənubda isə sol rellərin daha çox yeyilməsi də Koriolis qüvvəsinin təsiri ilə əlaqədardır. Koriolis qüvvəsi hərəkətin hansı istiqamətdə baş verməsindən asılı olmayaraq, hərəkət istiqamətində baxdıqda şimal yarımkürəsində sağa, cənub yarımkürəsində isə hərəkət istiqamətindən sola yönəlir. Sərbəst düşən cisimlər də Koriolis qüvvəsinin təsirinə məruz qalır. Koriolis qüvvəsinin təsiri ən çox ekvatorda özünü göstərir, qütblərdə isə Koriolis qüvvəsinin təsiri sıfıra bərabərdir [2].

Rəqqasın rəqs müstəvisinə Koriolis qüvvəsinin təsiri elm tarixində mühüm rol oynamışdır. Fransız alimi Fuko 1851-ci ildə uzunluğu 67 m olan riyazi rəqqasla təcrübə apararaq Koriolis qüvvəsinin təsirinə nümayiş etdirməklə eyni zamanda Yer in öz oxu ətrafında fırlandığını praktik olaraq təsdiq etmişdir. Fuko zaman keçdikcə rəqqasın rəqs müstəvisinin Yer in fırlanma istiqamətinin əksinə doğru döndüyünü müşahidə etmişdir. Fuko rəqqasına oxşar rəqqas Sankt-Peterburq şəhərində İsaak kilsəsində saxlanılır. Uzunluğu 98 m olan bu rəqqas vasitəsilə qısa müddətdə rəqs müstəvisinin dönməsini müşahidə etmək olar [3]. Bu məqsədlə rəqqası müəyyən vaxt keçdikdən sonra rəqqasın rəqs müstəvisi dönmür və yolunda olan taxta parçasına toxunaraq onu itələyir. Təpənməz (məsələn, Günəşlə bağlı olan) sistemə görə bu hadisələr çox asanlıqla izah olunur: Rəqqas ətalət qanununa görə rəqs müstəvisini dəyişməz saxlayır və Yer öz oxu ətrafında fırlandığından rəqqasın rəqs müstəvisi Yerə nəzərən dönmür. Bu kontekstdə iki misala baxaq:

Məlumdur ki, atış zamanı mərmirin hərəkət trayektoriyasına da Koriolis qüvvəsi öz təsirinə göstərir və bu təsir atış istiqamətindən asılıdır. Mərmirin şimal istiqamətində uçuşu zamanı şimal yarımkürəsində Şərqi, cənub yarımkürəsində isə Qərbi doğru meyl edir və uyğun olaraq cənub istiqamətində uçuş zamanı Şimal yarımkürəsində Qərbi, Cənub yarımkürəsində isə Şərqi doğru meyl edir.

1. Uzaq vuran M-46 topundan atılan mərmiyə təsir edən Koriolis qüvvəsinin mərmirin trayektoriyasını atış istiqamətindən neçə metr meyl etdirə biləcəyini hesablayaq. M-46 üçün maksimal uçuş məsafəsi – 27000 m, mərmirin başlanğıc sürəti – 310 m/san, kütləsi isə – 82 kiloqramdır (hesabatda havanın müqaviməti və digər təsirlər nəzərə alınmır) və mərmi 45° coğrafi en dairəsində meridian üzrə atılmışdır:

$OA = \vartheta \cdot t \Rightarrow$ uçuş müddəti: $t = \frac{OA}{\vartheta} = \frac{27000}{310} = 87,1$ (san) olduğunu alırıq. Yer kürəsinin öz oxu ətrafında fırlanma periodunun: $T = 24$ saat olduğunu bilərək, onun fırlanma bucaq sürətini

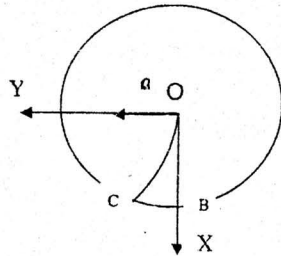
$$\omega\text{-ni hesablayaq: } \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{6,28}{24 \cdot 3600} = \frac{6,28}{86400} = 7,3 \cdot 10^{-5} \left(\frac{rad}{san}\right).$$

(1) düsturuna əsasən $a_k = 2\vartheta^2 \omega \cdot \sin\varphi$ koriolis təcilinin qiymətini tapırıq:
 $a_k = 2\vartheta^2 \omega \cdot \sin\varphi = 2 \cdot 310 \cdot 7,3 \cdot 10^{-5} \sin 45^\circ = 31,68 \cdot 10^{-3} \left(\frac{m}{san^2}\right)$

Koriolis təcilinin bu qiymətini nəzərə alıb trayektoriyanın meylini tapa bilirik:

$$BA = d = \frac{a_k \cdot t^2}{2} = \frac{31,68 \cdot 10^{-3} (87,1)^2}{2} = 119,893 (m)$$

2. Müqayisə üçün gülləsinin kütləsi 27,2 q və başlanğıc sürəti 900 m/san olan snayper tüfəngindən 45 dərəcə en dairəsində 2000 m məsafəyə atış zamanı Koriolis qüvvəsinin təsiri ilə trayektoriyanın meylini hesablamağa çalışsaq. Güllənin müstəvidə (şəkil 2) hərəkəti zamanı trayektoriyanın Koriolis qüvvəsinin təsiri ilə necə dəyişdiyi göstərilmişdir, biz CB məsafəsini hesablamalıyıq. Hərəkəti Ox və Oy oxları üzrə ayıraq:



Şəkil 2.

Ox oxu boyunca hərəkət tənliyi: $x = \vartheta \cdot t$ (2) buradan ümumi uçuş vaxtının $t = \frac{x}{\vartheta} = \frac{2000}{900} = 2,2$ (san) olduğunu tapırıq. Koriolis qüvvəsinin təsiri ilə axtarılan meyl Oy oxu boyunca baş verir, yəni təcili koriolis təcilinə bərabər hərəkət müşahidə olunur və $y = \frac{a_k}{2} t^2$ (3) tapmaq üçün əvvəlcə Koriolis təcilini taparaq. Birinci məsələdə baxdığımız kimi Koriolis təcilini hesablamış olsaq:

$$a_k = 2\vartheta\omega \cdot \sin\varphi = 2 \cdot 900 \cdot 7,3 \cdot 10^{-5} \cdot \sin(45^\circ) \approx 0,092 \left(\frac{m}{san^2}\right)$$

alırıq. y oxu boyunca yerdəyişməni tapsaq:

$$y = \frac{a_k}{2} t^2 = \frac{0,092}{2} \cdot (2,2^2) \approx 0,223(m) \approx 22,3(sm).$$

Bu xəta dəqiq atış zamanı atışa əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərəcək, lakin təxminən 1800 m məsafəyə atış zamanı küləyin təsirinin (5-6) m-ə çatdığını nəzərə alsaq belə meyl etmə nəzərə çarpmayacaq dərəcədə kiçik görünə bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Савельев, И.В. Курс общей физики. том 1. / И.В.Савельев. - Москва: Издательство Наука, - 1988. - 342 с.
2. Ландау, Л.Д., Ахиезер, А.И., Лифшиц, Е.М. Курс общей физики / Л.Д.Ландау, А.И.Ахиезер, Е.М.Лифшиц - Москва: Издательство Наука, - 1985. - 456 с
3. Вайнберг, Д.В., Писаренко, Г.С. Механические колебания и их роль в технике / Д.В.Вайнберг, Г.С.Писаренко - Москва: Государственное Издательство Физика-Математической Литературы, - 1998. - 320 с.

SUMMARY

T. I. ISMAYILOV

Azerbaijan Higher Military School named after Heydar Aliyev

Email: tahir.6591@gmail.com

CORIOLISM FORCE MOVEMENT ABOUT THE EFFECT ON TRAJECTORY

The article calculates the effect of Coriolis force on the trajectory of a bullet or projectile during firing from weapons of different calibers, based on an example of an M-46 long-range cannon and an SVD sniper rifle.

Key words: Coriolis force, inertia, non-inertia, acceleration, bullet, motion, trajectory, rotation, Foucault dancer.

РЕЗЮМЕ

ИСМАИЛОВ Т. И.

Азербайджанское высшее военное училище имени Гейдара Алиева

Почта: tahir.6591@gmail.com

О ВОЗДЕЙСТВИИ СИЛЫ КОРИОЛИСА НА ТРАЕКТОРИЮ ДВИЖЕНИЯ ПУЛИ

В статье проведен расчет влияния силы Кориолиса на траекторию полета пули или снаряда при стрельбе из оружия разного калибра на примере дальнобойной пушки М-46 и снайперской винтовки СВД.

Ключевые слова: сила Кориолиса, инерция, неинерция, ускорение, пуля, движение, траектория, вращение, маятник Фуко.

Məqalə redaksiyaya daxil olmuşdur: 03.05.21