УДК 629.072.19 (075.8)

В. І. Макеєв[1], В. І. Грабчак[2], П. Є. Трофименко[1], Ю. І. Пушкарьов[1]

[1]*Сумський державний університет, Суми*
[2]*Львівський інститут Сухопутних військ, Львів*

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІТРУ НА ПОЛІТ НЕКЕРОВАНИХ ОПЕРЕНИХ РЕАКТИВНИХ СНАРЯДІВ І РЕАКТИВНИХ СНАРЯДІВ, ЩО ОБЕРТАЮТЬСЯ

*У статті досліджується вплив постійного бокового та поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії, а також вплив перехресного вітру на політ некерованих оперених реактивних снарядів. Розглядаються особливості впливу постійного вітру на політ турбореактивного снаряда на активній ділянці траєкторії. Запропоновані математичні залежності, які дозволяють окремо враховувати боковий та поздовжній, прямий і перехресний вплив вітру на активній ділянці траєкторії польоту некерованих оперених реактивних снарядів та реактивних снарядів, що обертаються, а також враховувати вплив вітру на пасивній ділянці траєкторії їх польоту.*

***Ключові слова**: активна і пасивна ділянка траєкторії, оперені реактивні снаряди та реактивні снаряди, що обертаються, аеродинамічні сили та моменти, боковий та поздовжній, прямий та перехресний вітер .*

## Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді, аналіз літератури.** Важливою практичною задачею розрахунку траєкторії руху снарядів різних класів є визначення впливу вітру на активній та пасивній ділянці траєкторії їх польоту [1, 2].

Від того, наскільки успішно буде вирішене завдання забезпечення розрахункового руху снарядів при умові впливу прямого та перехресного, постійного та змінного вітру на активній та пасивній ділянках траєкторії, залежать як характеристики точності стрільби, так і загальна ефективність артилерійських систем. Найбільш повно проведені дослідження впливу постійного поздовжнього та бокового вітру на політ снарядів апаратів у роботах [1, 2, 3].

Класично задача про рух центра мас артилерійського снаряда [3] вирішується у припущенні, що атмосфера відносно Землі нерухома. Звичайно ж атмосфера переміщується з деякою швидкістю $\overline{W}$ . Тому швидкість снаряда у векторному вигляді відносно атмосфери (відносна швидкість) буде мати вигляд (рис. 1)

$$\overline{V}_r = \overline{V} - \overline{W} . \qquad (1)$$

У загальному випадку швидкість вітру $\overline{W}$ змінюється як за величиною, так і за напрямком. Вертикальна складова вектора $\overline{W}_y$ близька до нуля, і її можна не враховувати [1, 2]. Тому врахування вітру зводиться до врахування двох його складових: поздовжньої $\overline{W}_x$ і бокової $\overline{W}_z$ .

Вплив постійного вітру найкраще усього враховувати, якщо вирішувати задачу про рух центра мас снаряда у відносній системі координат, причому переносним рухом буде рух атмосфери, а відносним – рух снаряда відносно атмосфери [2, 3].

Вплив вітру на траєкторію польоту снаряда обумовлений зміною аеродинамічних сил і моментів. Величина і напрямок діючих на снаряд аеродинамічних сил і моментів залежать від вектора відносної швидкості $\overline{V}_r$ та орієнтації поздовжньої осі снаряда по відношенню до вектора відносної швидкості, $\overline{V}_r$ тобто від відносної величини кута атаки (або ковзання $\beta_r$).

Значення відносної швидкості $\overline{V}_r$, для снарядів, що обертаються (рис. 1), за умови, що

$$\overline{W}^2 = \overline{W}_x^2 + \overline{W}_z^2 , \ \ \overline{W}_y = 0 \qquad (2)$$

з урахуванням (1) дорівнює

$$\overline{V}_r = \sqrt{\overline{V}_r^2} = \sqrt{\left(\overline{V} - \overline{W}\right)^2} = \sqrt{\overline{V}^2 - 2\overline{V}\overline{W} + \overline{W}^2} = \\ = \sqrt{\overline{V}^2 - 2\left(\overline{V}_x\overline{W}_x + \overline{V}_z\overline{W}_z\right) + \overline{W}^2}. \qquad (3)$$

Приймемо:

$$\overline{V}_x = \overline{V} \cdot \cos\theta \cdot \cos\psi, \\ \overline{V}_z = \overline{V} \cdot \cos\theta \cdot \sin\psi. \qquad (4)$$

Підставляючи залежність (4) у формулу (3), отримуємо:

$$\overline{V}_r = \overline{V}\sqrt{\left(1 - \frac{2\left(\overline{W}_x \cdot \cos\theta \cdot \cos\psi + \overline{W}_z \cdot \cos\theta \cdot \sin\psi\right)}{\overline{V}} + \frac{\overline{W}^2}{\overline{V}^2}\right)}. \qquad (5)$$

На сьогоднішній день методика розрахунку поправочних формул у системі диференційних рівнянь руху оперених реактивних снарядів і реактивних снарядів, що обертаються, яка дозволяла б, з достатньою точністю враховувати поправки на вітер на активній ділянці траєкторії з врахуванням

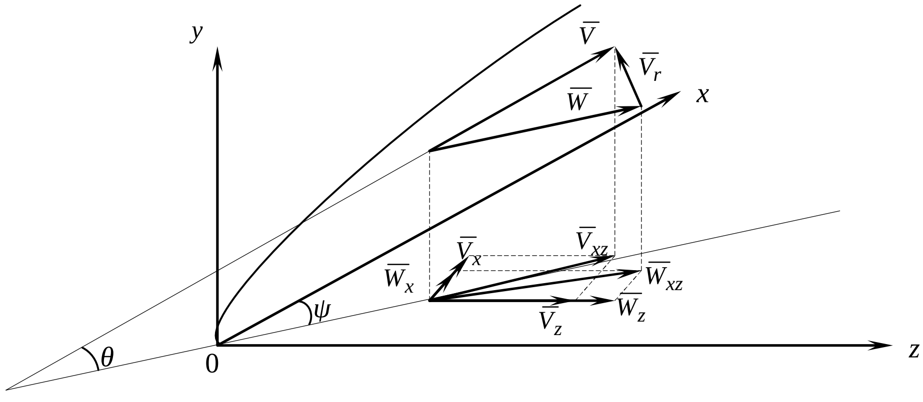



*Рис. 1.* **Визначення відносної швидкості руху снаряда**

прямого, перехресного та змінного вітру й окремо на пасивній ділянці траєкторії, відсутня.

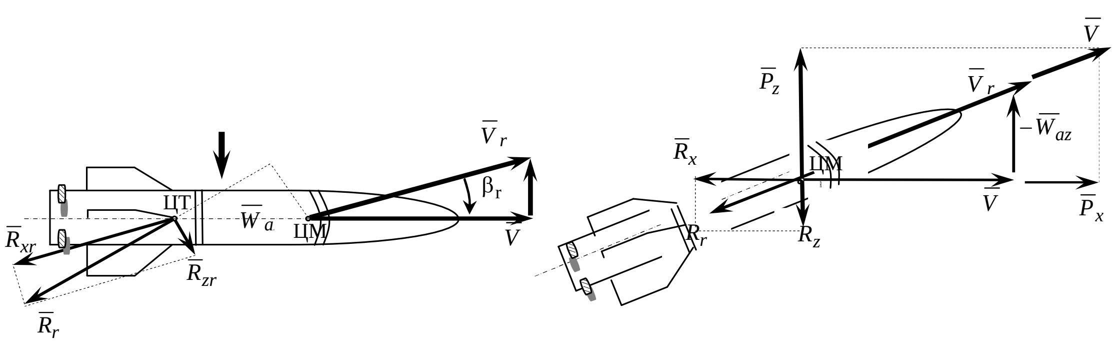
Формула (5) являє собою частковий випадок розрахунку перемінного вітру, оскільки вплив перемінного з висотою вітру може бути уточнено на підставі залежностей, які виводяться для впливу постійного вітру.

**Метою статті** є дослідження впливу постійного бокового та поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії, а також впливу перехресного вітру на політ некерованих оперених реактивних снарядів. Визначення математичних залежностей, які дозволяють врахувати прямий і перехресний вплив вітру на активній ділянці траєкторії, а також вплив вітру на пасивній ділянці траєкторії польоту некерованих оперених реактивних снарядів і реактивних снарядів, що обертаються.

## Основна частина

**Вплив постійного бокового та поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії на політ оперених реактивних снарядів.** Розглянемо прямий вплив постійного бокового вітру на активній ділянці траєкторії на політ опереного реактивного снаряда (ОРС) без врахування його провертання навколо поздовжньої осі.

При дії бокового вітру зі швидкістю $\overline{W}_{az}$ на ОРС, який летить зі швидкістю $\overline{V}$ відносно Землі, змінюється вектор відносної швидкості ОРС: $\overline{V}_r = \overline{V} + \overline{W}_{az}$ і з'являється кут ковзання $\beta_r \approx -\frac{\overline{W}_{az}}{\overline{V}}$ між поздовжньою віссю ОРС і вектором відносної швидкості, причому вектор відносної швидкості $\overline{V}_r$ відхиляється від поздовжньої осі ОРС у той бік, звідки віє вітер (рис. 2*а*). У зв'язку з появою кута ковзання $\beta_r$ змінюється величина і напрямок сили лобового опору $\overline{R}_{xr}$ і з'являється бокова аеродинамічна сила $\overline{R}_{zr}$, яка спрямована в той бік, куди віє вітер. Сила $\overline{R}_{xr}$, яка не проходить через центр мас ОРС при наявності кута ковзання , і, головним чином, сила $\overline{R}_{zr}$ створює аеродинамічний стабілізуючий момент, під впливом якого некерований ОРС повертається таким чином,




*а*) *б*)

*Рис. 2.* **Дія бокового вітру $\overline{W}_{az}$ на політ ОРС на активній ділянці траєкторії :**

***а* – виникнення кута ковзання $\beta_r$ і бокової аеродинамічної сили $\overline{R}_{zr}$ ; *б* – повертання ОРС під впливом стабілізуючого моменту і поява бокової складової сили тяги $\overline{P}_z >> \overline{R}_z$**

щоб її поздовжня вісь поєдналася з напрямком вектора відносної швидкості. У дійсності процес повертання ОРС відбувається у вигляді коливань її поздовжньої осі відносно напрямку вектора відносної швидкості, але у середньому поздовжня вісь ОРС займає положення, близьке до напрямку вектора відносної швидкості, тобто відхиляється у бік, звідки віє вітер [2,4,5].

Указаний характер повертання поздовжньої осі некерованого ОРС у бік, звідки віє вітер, зовсім ідентичний як для активної, так і для пасивної ділянки траєкторії. Однак сутність дії вітру на активній ділянці траєкторії на політ опереного некерованого ОРС полягає у тому, що вектор сили тяги, що збігається в середньому з напрямком поздовжньої осі ОРС, також відхиляється у той бік, звідки віє вітер. При цьому виникає бокова складова сили тяги $P_z$, набагато переважаюча за величиною бокову складову аеродинамічної сили $\bar{R}_z\left(\bar{P}_z >> \bar{R}_z\right)$, тому що сила тяги двигуна значно перевищує за величиною повну аеродинамічну силу (рис. 2*б*).

Під впливом бокової складової сили тяги $\bar{P}_z$ ОРС отримує бокову швидкість і переміщується в тому ж напрямку, звідки віє вітер на активній ділянці траєкторії (а не у тому, куди віє вітер і куди спрямована бокова аеродинамічна сила $\bar{R}_z$, як на пасивній ділянці траєкторії або при польоті звичайного снаряда).

Отже, під дією постійного бокового вітру активна ділянка траєкторії ОРС відхиляється від площини пуску (викривлюється) у той бік, звідки віє вітер. У кінці активної ділянки траєкторії вектор швидкості ОРС буде відхилений від площини пуску на деякий кут $\psi_к$, який характеризує напрямок польоту на пасивній ділянці траєкторії.

У результаті точка падіння ОРС отримує бокове відхилення у бік, звідки віє вітер на активній ділянці траєкторії. Вплив постійного бокового вітру на активній ділянці траєкторії на кутове відхилення вектора швидкості $\bar{V}_k$ некерованого ОРС від площини пуску в кінці активної ділянки траєкторії прийнято характеризувати так званим вітровим коефіцієнтом прямого впливу $\gamma_w$ [4].

Вітровим коефіцієнтом прямого впливу $\gamma_w$ зветься кутове відхилення вектора швидкості ОРС $\bar{V}_k$ у кінці активної ділянки траєкторії від площини пуску, яке обумовлене дією постійного бокового вітру на активній ділянці траєкторії зі швидкістю 1 м/с.

Вітровий коефіцієнт залежить від конструктивних і аеродинамічних характеристик некерованого ОРС, параметрів і режиму роботи двигуна. Суттєво впливає на вітровий коефіцієнт і вітрове відхилення напрямку вектора швидкості ОРС у кінці активної ділянки траєкторії, зокрема, такі параметри, як температура порохового двигуна і час його роботи [3,6].

Ті фактори, які призводять до зменшення швидкості польоту ОРС на активній ділянці траєкторії, сприяють збільшенню відносного кута ковзання $\beta_r$, бокової складової сили тяги $\bar{R}_z$ (див. рис. 2), отже, призводять до збільшення вітрового коефіцієнта, вітрових відхилень і розсіювання, обумовленого діями вітру на активній ділянці траєкторії.

Користуючись вітровим коефіцієнтом $\gamma_w$ визначимо кутове відхилення вектора швидкості у кінці активної ділянки траєкторії відносно площини кидання:

$$\psi_k = -\gamma_w \cdot \bar{W}_{az} \qquad (6)$$

Знак «мінус» у цьому виразі вказує, що кутове відхилення вектора швидкості $\bar{V}_k$ проходить у напрямку, протилежному швидкості вітру $\bar{W}_{az}$.

Кут $\psi_к$ розташований у боковій похилій площині, яка проходить через вектор швидкості $V_k$ у кінці активної ділянки траєкторії перпендикулярно площині пуску і нахиленої до горизонту під кутом $\Theta_к$ (рис. 3).

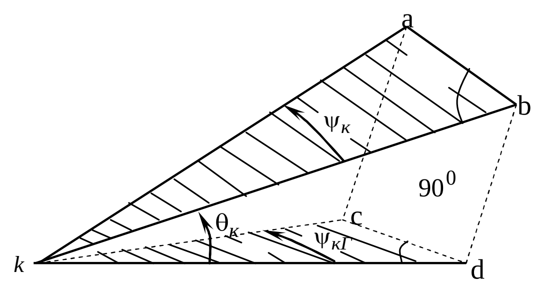



*Рис. 3.* **Кути $\psi_к$ і $\psi_{кГ}$:**
**$\psi_к$ – кут у боковій нахиленій площині;**
**$\psi_{кГ}$ – проекція кута $\psi_к$ на горизонтальну площину**

Визначимо проекцію кута $\psi_к$ на горизонтальну площину $\psi_{кГ}$. Із рис. 3 видно, що

$$\operatorname{tg}\psi_{kГ} = \frac{cd}{kd} = \frac{ab}{kb\cos\theta_k} = \frac{\operatorname{tg}\psi_k}{\cos\theta_k},$$

або, оскільки кути $\psi_к$ і $\psi_{кГ}$ малі, тоді

$$\psi_{kГ} \approx \frac{\psi_k}{\cos\theta_k}.$$

Кут $\psi_{кГ}$ визначає відхилення проекції вектора швидкості $\bar{V}_k$ у кінці активної ділянки траєкторії на горизонтальну площину від площини пуску. У відповідності з цим кутовим відхиленням, яке визначає напрямок польоту ОРС на пасивній ділянці траєкторії, отримуємо бокове лінійне відхилення точки падіння ОРС (рис. 4):

$$Z_{W_{az}} = z_k + \psi_{k\Gamma} X_n = z_k + \frac{\psi_k}{\cos\theta_k} X_n,$$

або, враховуючи значення $\psi_к$ (6) і від'ємне значення $z_k = -|z_k|$, отримаємо

$$Z_{W_{az}} = -|z_k| - \frac{\gamma_W \overline{W}_{az}}{cos\theta_k} X_n, \qquad (7)$$

де $X_n$ – дальність пасивної ділянки траєкторії; $z_k$ – бокове лінійне відхилення кінця активної ділянки траєкторії під впливом бокового вітру $\overline{W}_{az}$.

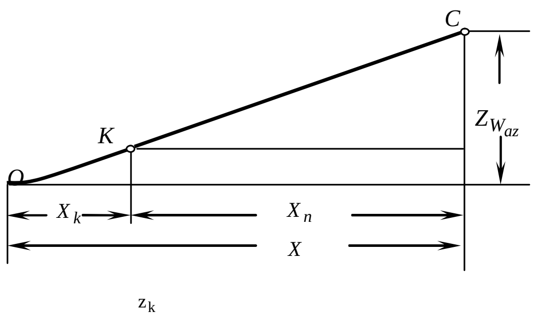



*Рис. 4.* **Бокове відхилення точки падіння ОРС** $Z_{W_{az}}$

Оскільки величина $z_k$ мала, враховуємо її частково, замінюючи у формулі (7) величину $X_n$ величиною повної дальності *X*. Тоді отримуємо вираз для бокового лінійного відхилення точки падіння ОРС під впливом постійного бокового вітру на активній ділянці траєкторії зі швидкістю $\overline{W}_{az}$ :

$$Z_{W_{az}} = -\frac{\gamma_w \overline{W}_{az}}{\cos\theta_k} X \ . \qquad (8)$$

Розглянемо прямий вплив постійного поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії на політ ОРС без врахування його провертання навколо поздовжньої осі (рис. 5).

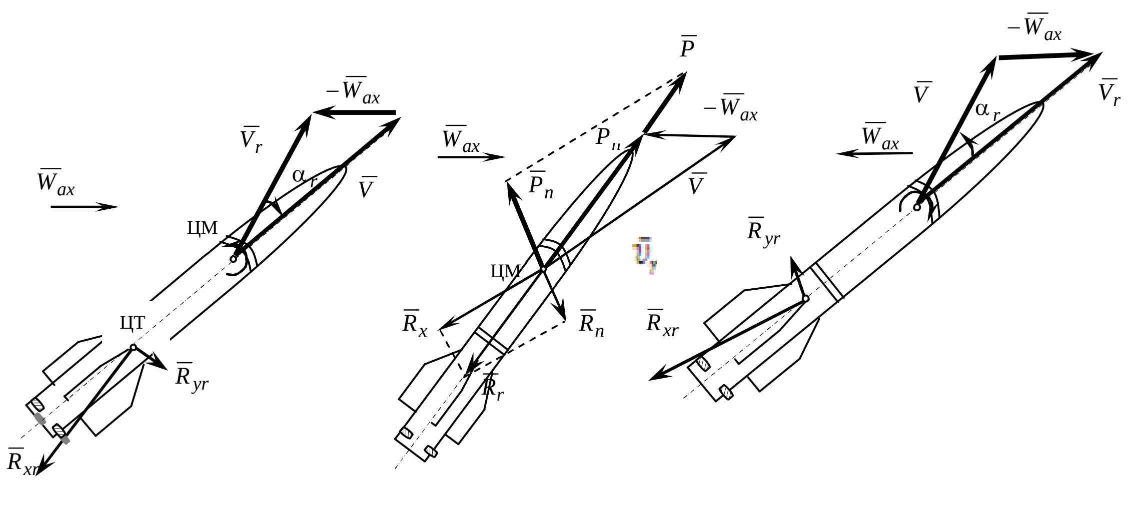
Фізичний характер впливу постійного поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії такий же, як і у випадку бокового вітру. При дії поздовжнього вітру зі швидкістю $\overline{W}_{ax}$ на ОРС, вектор відносної швидкості визначається виразом виду

$$\overline{V}_r = \overline{V} - \overline{W}_{ax}. \qquad (9)$$

Поздовжня вісь ОРС у початковий момент відхилена від вектора відносної швидкості ОРС, тобто з'являється відносний кут атаки $\alpha_r$, від'ємний при поздовжньому попутному вітрі ($\overline{W}_{ax} > 0$) і додатній при поздовжньому зустрічному вітрі ($\overline{W}_{ax} < 0$) (рис. 6). У зв'язку з появою кута атаки $\alpha_r$ змінюються величина і напрямок сили лобового опору $\overline{R}_{xr}$ і з'являється підіймальна аеродинамічна сила $\overline{R}_{yr}$, яка спрямована у бік напрямку дії вітру.

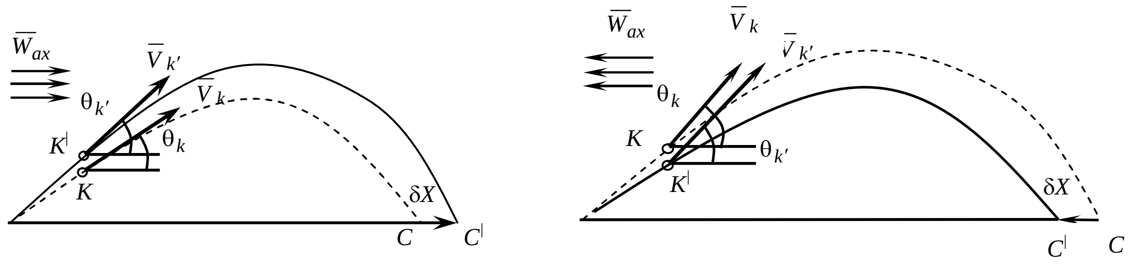
Ці сили створюють аеродинамічний стабілізуючий момент, який повертає ОРС таким чином, щоб його поздовжня вісь сумістилась із вектором відносної швидкості.

Процес повертання ОРС відбувається у вигляді його коливань, причому поздовжня вісь ОРС і разом з ним вектор сили тяги у середньому збігаються із напрямком вектора відносної швидкості, тобто відхилені у той бік, який спрямований у протилежному напрямку дії вітру.




*а*) *б*) *в*)

*Рис. 5.* **Відносна швидкість $P_n$ і кут атаки $\alpha_r$ при поздовжньому вітрі на активній ділянці траєкторії :**
***а*** **– $P_n$ і $\alpha_r$ при $\overline{W}_{ax} > 0$ ;** ***б*** **– нормальна складова $\overline{P}_n$ і $\overline{R}_n$ при $\overline{W}_{ax} > 0$ ;** ***в*** **– $P_n$ і $\alpha_r$ при $\overline{W}_{ax} < 0$**




*а*) *б*)

*Рис. 6.* **Вплив поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії на дальність польоту некерованого ОРС :** ***а*** **–** $\left(\overline{W}_{ax} > 0\right)$ **(вітер попутній),** $\delta X > 0$ **;** ***б*** **–** $\left(\overline{W}_{ax} < 0\right)$ **(вітер зустрічний),** $\delta X < 0$

Ці сили створюють аеродинамічний стабілізуючий момент, який повертає ОРС таким чином, щоб її поздовжня вісь сумістилась із вектором відносної швидкості. Процес повертання ОРС відбувається у вигляді його коливань, причому поздовжня вісь ОРС і разом з нею вектор сили тяги у середньому збігаються з напрямком вектора відносної швидкості, тобто відхилені у той бік, який спрямований у протилежному напрямку дії вітру.

При цьому виникає нормальна складова сили тяги $\overline{P}_n$, значно переважаюча за величиною нормальну складову $\overline{R}_n$ повної аеродинамічної сили ( $\overline{P}_n >> \overline{R}_n$ , рис. 5*б*).

Під дією нормальної складової сили тяги $\overline{P}_n$ ОРС отримує додаткову швидкість за напрямком нормалі до незбудженої траєкторії (при відсутності вітру), і фактична траєкторія ОРС на активній ділянці траєкторії відхиляється у той бік, який спрямований у протилежному напрямку дії вітру. У випадку поздовжнього попутного вітру траєкторія некерованого ОРС на активній ділянці траєкторії відхиляється уверх від лінії кидання, тобто проходить вище незбудженої траєкторії.

При цьому кут нахилу дотичної $\Theta_к$ у кінці активної ділянки траєкторії збільшується і дальність польоту ОРС зростає (рис. 6*а*). Під впливом зустрічного вітру, навпаки, траєкторія некерованого ОРС на активній ділянці траєкторії відхиляється вниз від лінії кидання, тобто проходить нижче незбудженої траєкторії. Кут $\Theta_к$ нахилу вектора швидкості у кінці активної ділянки траєкторії зменшується, і дальність польоту ОРС зменшується (рис. 6*б*).

Зміна кута $\Theta_k$ під впливом постійного поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії може бути виражена через вітровий коефіцієнт прямого впливу $\gamma_W$ .

При користуванні вітровим коефіцієнтом необхідно враховувати нормальну складову швидкості поздовжнього вітру (рис. 7).

$$\overline{W}_{ax_n} = \overline{W}_{ax} \cdot \sin\theta_{cp} , \qquad (10)$$

перпендикулярну середньому напрямку активної ділянки траєкторії у вертикальній площині (на рис. 7 активна ділянка траєкторії заміщена відрізком прямої під кутом $\Theta_{cp}$ до горизонту).

Нормальна складова швидкості поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії $\overline{W}_{ax}$ чинить на траєкторію некерованого ОРС такий же вплив у вертикальній площині, як і боковий вітер у боковій нахиленій площині, викликаючи відхилення траєкторії на активній ділянці траєкторії у той же бік, який спрямований у протилежному напрямку дії вітру.

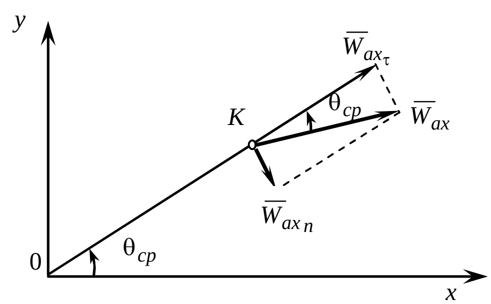



*Рис. 7.* **Нормальна** $\overline{W}_{ax_n} = \overline{W}_{ax} \cdot \sin\theta_{cp}$ **і дотична** $\overline{W}_{ax_\tau}$ **, що є складовими швидкості поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії**

Кутове відхилення вектора швидкості $\overline{V}_k$ у вертикальній площині або зміна кута $\Theta_k$ визначається як добуток вітрового коефіцієнта прямого впливу $\gamma_W$ на нормальну складову швидкості поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії:

$$\delta\theta_к = \gamma_W \cdot \overline{W}_{ax_n} = \gamma_W \overline{W}_{ax} \cdot \sin\theta_{cp} . \qquad (11)$$

Дотична, яка складає швидкість поздовжнього вітру $\overline{W}_{ax_\tau} = \overline{W}_{ax} \cdot \cos\theta_{cp}$ , практично не впливає на зміну напрямку вектора швидкості ОРС. Її вплив на величину і напрямок вектора швидкості ОРС у кінці активної ділянки траєкторії виявляється через зміну величини сили лобового опору повітря. Але оскільки сила лобового опору повітря $\overline{R}_x$ на активній ділянці траєкторії мала у порівнянні з силою тяги двигуна, то впливом зміни сили лобового опору $\overline{R}_x$ внаслідок поздовжнього вітру на кут $\Theta_к$ та інші елементи (координати) кінця активної ділянки траєкторії у першому наближенні можна знехтувати.

Знаючи зміну кута нахилу дотичної у кінці активної ділянки траєкторії $\delta\Theta_к$, за методом диференціалів можна визначити відповідні зміни дальності польоту ОРС, помножуючи величину $\delta\Theta_к$ на поправний коефіцієнт $\frac{\partial X_n}{\partial \theta_к}$, враховуючий зміну дальності польоту ОРС внаслідок зміни кута $\delta\Theta_к$:

$$\delta X_{W_{ax}} = \frac{\partial X_n}{\partial \theta_к}\delta\theta_к = \frac{\partial X_n}{\partial \theta_к}\cdot\gamma_w \overline{W}_{ax}\sin\theta_{cp}. \quad (12)$$

Більш точне відхилення дальності польоту ОРС під впливом постійного (як і перемінного) поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії визначається методом різностей при розрахунку траєкторій методом чисельного інтегрування з урахуванням і без урахування поздовжнього вітру. (Вплив поздовжнього вітру зі швидкістю $\overline{W}_{ax}$ враховується через відносну швидкість $\overline{V}_r$ і відносний кут атаки $\alpha_r$, який входить до виразу аеродинамічних сил і моментів, що визначають коливання ОРС відносно центру мас і які впливають на рух самого центра мас ОРС).

При великих швидкостях поздовжнього вітру і великих дальностях пуску відхилення дальності залежать нелінійно від швидкості вітру і визначаються з необхідною точністю лише методом різностей окремо для попутного і зустрічного вітру.

**Перехресний вплив вітру на політ некерованих ОРС на активній ділянці траєкторії.**

Провертання некерованого ОРС навколо поздовжньої осі обумовлює появу разом із прямим так званого перехресного або вторинного впливу вітру на активній ділянці траєкторії на політ ОРС, який міститься у відхиленні активної ділянки траєкторії в площині, що перпендикулярна напрямку дії вітру.

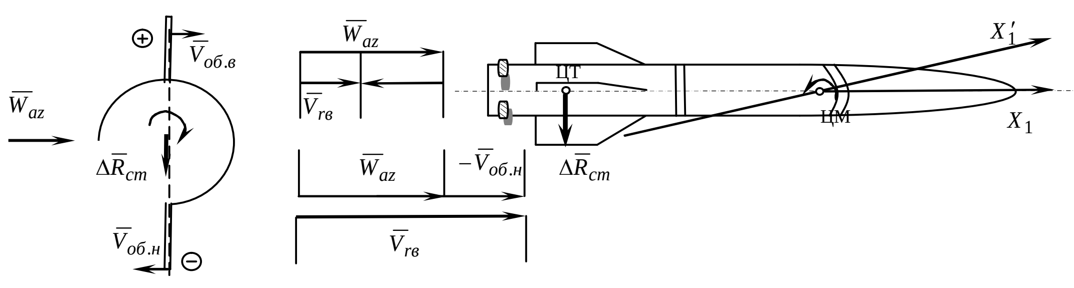
Перехресний вплив вітру на активній ділянці траєкторії на політ некерованого ОРС, що обертається, виражається у тому, що боковий вітер викликає відхилення активної ділянки і всієї траєкторії у вертикальній площині, тобто відхилення точки падіння ОРС по дальності, а поздовжній вітер – відхилення активної ділянки і всієї траєкторії, включаючи точку падіння, у боковому напрямку, перпендикулярному площині пуску.

Перехресний вплив вітру на активній ділянці траєкторії на політ ОРС, що обертається, пояснюється виникненням додаткових сил тиску в області стабілізатора, який викликає поворот ОРС навколо центра мас у площині, яка перпендикулярна вектору дії вітру.

Розглянемо виникнення додаткових сил тиску в області стабілізатора при дії бокового вітру на некерований ОРС, що обертається (рис. 8).

При відсутності обертання ОРС навколо поздовжньої осі обтікання потоком повітря верхнього і нижнього пір'їв стабілізатора у боковому напрямку відбувається з однаковою швидкістю, рівною швидкості бокового вітру, розподіл тиску в області верхнього і нижнього пір'їв стабілізатора однаково (симетрично), і додаткової сили тиску не виникає (на рис. 8 показана одна пара симетрично розташованих пір'їв стабілізатора).

При обертанні ОРС навколо поздовжньої осі відбувається складання швидкості бокового вітру з однаковою швидкістю, рівною швидкості бокового вітру, розподіл тиску в області верхнього і нижнього пір'їв стабілізатора однаково (симетрично) і додаткової сили тиску не виникає (на рис. 8




*а*) вид ззаду *б*) вид збоку

*Рис. 8.* **Перехресний вплив бокового вітру на політ некерованого ОРС, що обертається:**
***а* – бокові швидкості обтікання повітрям верхнього ( $\overline{V}_{rв}$ ) і нижнього ( $\overline{V}_{rн}$ ) пера і додаткова сила тиску на стабілізатор $\Delta\overline{R}_{cm}$ ; *б* – напрямок повороту ОРС у вертикальній площині під впливом моменту сили $\Delta\overline{R}_{cm}$**

показана одна пара симетрично розташованих пір’їв стабілізатора).

При обертанні ОРС навколо поздовжньої осі відбувається складання швидкості бокового вітру з протилежно спрямованими лінійними швидкостями обертання пір’їв стабілізатора.

При цьому відносна швидкість відтікання повітря у боковому напрямку від верхнього пера буде менше, ніж від нижнього.

Отже, тиск повітря в області верхнього пера буде більше, ніж в області нижнього, з’явиться додаткова вертикальна сила тиску $\Delta\overline{R}_{cm}$, яка викликає повертання ОРС навколо центра мас у вертикальній площині вершиною уверх (рис. 8 *а*, *б*).

Аналогічно при діях поздовжнього попутного вітру на активній ділянці траєкторії на ОРС, що обертається (рис. 9), тиск в області правого пера буде більше, ніж тиск повітря в області лівого пера, і з’явиться додаткова бокова аеродинамічна сила тиску в області стабілізатора $\Delta\overline{R}_{cm}$, яка викликає повертання ОРС навколо центра мас у боковій площині вершиною вправо.

При цьому виникає додаткова бокова складова сили тяги, яка викликає викривлення активної ділянки траєкторії праворуч, таким чином у кінці активної ділянки траєкторії вектор швидкості центра мас ОРС відхилиться праворуч від площини кидання на кут $\psi_к$, викликавши відповідні відхилення за напрямком точки падіння ОРС.

Отже, перехресний вплив поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії $\left(\overline{W}_{ax} > 0\right)$ призведе до відхилення вектора швидкості $\overline{V}_k$ у кінці активної ділянки траєкторії і точки падіння ОРС вправо від площини пуску.

Перехресний вплив вітру на активній ділянці траєкторії на політ некерованого ОРС, що обертається, враховується вітровим коефіцієнтом перехресного впливу $\gamma_м$, яким зветься кутове відхилення вектора швидкості $\overline{V}_k$ у кінці активної ділянки траєкторії у напрямку, перпендикулярному площині дії вітру, що обумовлене постійним вітром на активній ділянці траєкторії зі швидкістю 1 м/с, спрямованим перпендикулярно траєкторії польоту ОРС.

У випадку врахування перехресного впливу постійного бокового вітру на активній ділянці траєкторії $\overline{W}_{az}$ визначимо відхилення кута $\Theta_к$:

$$\delta\theta_{кW_{az}} = \gamma_м \overline{W}_{az} \qquad (13)$$

і отримуємо відповідне відхилення дальності польоту ОРС під впливом бокового вітру:

$$\delta X_{W_{az}} = \frac{\partial X_п}{\partial\theta_к}\delta\theta_{кW_{az}} = \frac{\partial X_п}{\partial\theta_к}\gamma_м \overline{W}_{az}. \qquad (14)$$

У випадку врахування перехресного впливу постійного поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії $\overline{W}_{az}$ визначимо кут $\psi_к$ відхилення вектора швидкості ОРС $\overline{V}_k$ у кінці активної ділянки траєкторії у боковій нахиленої площини:

$$\psi_{кW_{ax}} = \gamma_м \overline{W}_{ax_n} = \gamma_м \overline{W}_{ax}\sin\theta_{cp}, \qquad (15)$$

причому $\overline{W}_{ax_n} = \overline{W}_{ax}\sin\theta_{cp}$ – середнє значення нормальної складової швидкості постійного поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії. Відповідне бокове лінійне відхилення точки падіння ОРС під впливом поздовжнього вітру визначимо як

$$Z_{W_{ax}} = \frac{\psi_{кW_{ax}}}{\cos\theta_к}X = \frac{\gamma_м \overline{W}_{ax}\sin\theta_{cp}}{\cos\theta_к}X. \qquad (16)$$

**Особливості впливу постійного вітру на політ турбореактивного снаряда на активній ділянці траєкторії**. Фізична картина впливу вітру на політ турбореактивного снаряда на активній ділянці траєкторії відрізняється від випадку дії вітру на некерований ОРС у зв’язку з розрізненням способу стабілізації ТРС і ОРС у польоті і різним характером впливу аеродинамічних сил.

З моменту сходу ТРС з напрямної при наявності вітру утворюється систематичне відхилення $\delta_r$ осі снаряда від вектора $\overline{V}_k$ відносної швидкості, яке розташоване у площині дії вітру і спрямоване у бік дії вітру. У зв’язку з цим

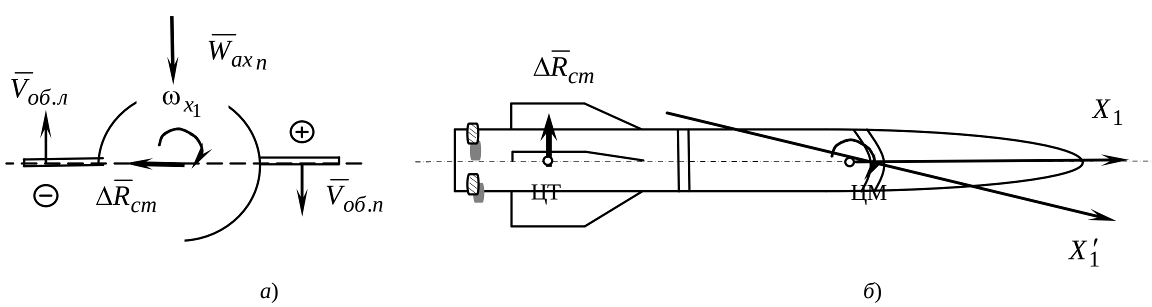



*Рис. 9.* **Перехресний вплив поздовжнього вітру на політ некерованого ОРС, що обертається:**
***а*** **– області надлишкового тиску (+) і розрідження (–) і додаткова сила тиску на стабілізатор $\Delta\overline{R}_{cm}$;**
***б*** **– напрямок повороту ОРС у боковій площині під впливом моменту сили $\Delta\overline{R}_{cm}$**

з'являється додаткова систематична нормальна складова аеродинамічної сили $\overline{R}_n$, яка прикладена в центрі тиску снаряда, що діє у напрямку дії вітру і створює перекидаючий момент, який прагне відхилити вісь ТРС у бік дії вітру. Внаслідок гіроскопічних властивостей ТРС при відхиленні осі снаряда у площині дії вітру відбувається також повертання осі ТРС у перпендикулярній площині у напрямку обертання снаряда, тобто виникають прецесійний рух і нутаційні коливання ТРС.

Прецесійний рух і нутаційні коливання ТРС пов'язані з безперервною зміною положення осі снаряда і напрямку дії сили тяги у просторі, що призводить до викривлення траєкторії у вертикальній і боковій площинах.

Таким чином, у результаті дії вітру на активній ділянці траєкторії ТРС вектор швидкості $\overline{V}_k$ або дотичної у кінці активної ділянки траєкторії отримуємо кутові відхилення у вертикальній і горизонтальній площинах, які викликають, у свою чергу, відхилення точки падіння по дальності і напрямку. Розглядаючи дію поздовжнього і бокового вітру на активній ділянці траєкторії ТРС при кутах кидання, менших кута найбільшої дальності (наприклад, 45°), отримуємо наступне правило відхилень ТРС по дальності і напрямку.

Поздовжній попутний вітер відхиляє снаряд і вектор $\overline{V}_k$ вниз і ліворуч; дальність польоту зменшується, і точка падіння снаряда відхиляється ліворуч від площини кидання.

Поздовжній зустрічний вітер викликає протилежні відхилення, тобто дальність польоту збільшується, точка падіння снаряда відхиляється праворуч від площини стрільби.

Боковий вітер зліва відхиляє снаряд і вектор $\overline{V}_k$ праворуч і вниз; точка падіння снаряда відхиляється праворуч від площини стрільби, а дальність польоту зменшується. Боковий вітер праворуч викликає протилежні відхилення, тобто точка падіння снаряда відхиляється ліворуч від площини кидання, а дальність польоту снаряда збільшується.

Виходячи із вищевикладеного, значення відносної швидкості $\overline{V}_r$ для опереного РС і ТРС буде мати вигляд:

1-й випадок $\theta \to \theta + \delta\theta, \quad \psi \to \psi + \Delta\psi$.

$$\overline{V}_r = \overline{V}\sqrt{1 - \frac{2(\overline{W}_x \cdot \cos(\theta+\delta\theta)\cdot\cos(\psi+\Delta\psi) + \overline{W}_z \cdot \cos(\theta+\delta\theta)\cdot\sin(\psi+\Delta\psi)}{\overline{V}} + \frac{\overline{W}^2}{\overline{V}^2}} =$$

$$= \overline{V}\sqrt{1 - \frac{2\overline{W}_x(\cos\theta + \cos\delta\theta - \sin\theta\cdot\sin\delta\theta)(\cos\psi\cdot\cos\Delta\psi - \sin\psi\cdot\sin\Delta\psi)}{\overline{V}} - \frac{2\overline{W}_z(\cos\theta + \cos\delta\theta - \sin\theta\cdot\sin\delta\theta)(\sin\psi\cdot\cos\Delta\psi + \cos\psi\cdot\sin\Delta\psi)}{\overline{V}} + \frac{\overline{W}^2}{\overline{V}^2}},$$

враховуючи, що $\sin\delta\theta = \gamma_м \cdot \overline{W}_{az}$, $\cos\delta\theta \approx 1$, $\sin\Delta\psi \approx \Delta\psi = -\frac{\gamma_W \cdot \overline{W}_x}{\cos\theta}$, $\cos\Delta\psi \approx 1$, тоді

$$\overline{V}_r = \overline{V}\sqrt{1 - \frac{2\overline{W}_x(\cos\theta - \sin\theta\cdot\gamma_м\overline{W}_z)\left(\cos\psi + \sin\psi\cdot\gamma_м\frac{\overline{W}_x}{\cos\theta}\right)}{\overline{V}} - \frac{2\overline{W}_z(\cos\theta - \sin\theta\cdot\gamma_м\overline{W}_z)\left(\sin\psi - \cos\psi\cdot\gamma_м\frac{\overline{W}_x}{\cos\theta}\right)}{\overline{V}} + \frac{\overline{W}^2}{\overline{V}^2}} =$$

$$= \overline{V}\sqrt{1 - \frac{2\overline{W}_x\left(\cos\theta\cos\psi + \gamma_w\overline{W}_x\sin\psi - \gamma_м\overline{W}_z\sin\theta\cos\psi - \gamma_w\gamma_м\overline{W}_x\overline{W}_z tg\theta\cos\psi\right)}{\overline{V}} - \frac{2\overline{W}_z\left(\cos\theta\sin\psi - \gamma_w\overline{W}_x\cos\psi - \gamma_м\overline{W}_z\sin\theta\sin\psi + \gamma_w\gamma_м\overline{W}_x\overline{W}_z tg\theta\cos\psi\right)}{\overline{V}} + \frac{\overline{W}^2}{\overline{V}^2}}. \quad (17)$$

2-й випадок $\theta \to \theta + \delta\theta, \quad \psi \to \psi - \Delta\psi$.

$$\overline{V}_r = \overline{V}\sqrt{1 - \frac{2\overline{W}_x \cdot \cos(\theta+\delta\theta)\cdot\cos(\psi-\Delta\psi)}{\overline{V}} - \frac{2\overline{W}_z \cdot \cos(\theta+\delta\theta)\cdot\sin(\psi-\Delta\psi)}{\overline{V}} + \frac{\overline{W}^2}{\overline{V}^2}} =$$

$$= \overline{V}\sqrt{1-\frac{2\overline{W}_x\left(\cos\theta\cos\psi+\gamma_w\overline{W}_x\sin\psi-\gamma_M\overline{W}_z\sin\theta\cos\psi+\gamma_w\gamma_M\overline{W}_x\overline{W}_z tg\theta\sin\psi\right)}{\overline{V}}-\frac{2\overline{W}_z\left(\cos\theta\sin\psi-\gamma_w\overline{W}_x\cos\psi-\gamma_M\overline{W}_z\sin\theta\sin\psi-\gamma_w\gamma_M\overline{W}_x\overline{W}_z tg\theta\cos\psi\right)}{\overline{V}}+\frac{\overline{W}^2}{\overline{V}^2}}. \quad (18)$$

3-й випадок $\theta\to\theta-\delta\theta,\quad \psi\to\psi-\Delta\psi$ .

$$\overline{V}_r = \overline{V}\sqrt{1-\frac{2\overline{W}_x\cdot\cos(\theta-\delta\theta)\cdot\cos(\psi-\Delta\psi)}{\overline{V}}-\frac{2\overline{W}_z\cdot\cos(\theta-\delta\theta)\cdot\sin(\psi-\Delta\psi)}{\overline{V}}+\frac{\overline{W}^2}{\overline{V}^2}} =$$

$$= \overline{V}\sqrt{1-\frac{2\overline{W}_x\left(\cos\theta\cos\psi+\gamma_M\overline{W}_z\sin\theta\sin\psi-\gamma_w\overline{W}_x\sin\psi-\gamma_w\gamma_M\overline{W}_x\overline{W}_z tg\theta\sin\psi\right)}{\overline{V}}-\frac{2\overline{W}_z\left(\cos\theta\sin\psi+\gamma_M\overline{W}_z\sin\theta\sin\psi+\gamma_w\overline{W}_x\cos\psi+\gamma_w\gamma_M\overline{W}_x\overline{W}_z tg\theta\cos\psi\right)}{\overline{V}}+\frac{\overline{W}^2}{\overline{V}^2}}. \quad (19)$$

4-й випадок $\theta\to\theta-\delta\theta,\quad \psi\to\psi+\Delta\psi$ .

$$\overline{V}_r = \overline{V}\sqrt{1-\frac{2\overline{W}_x\cdot\cos(\theta-\delta\theta)\cdot\cos(\psi+\Delta\psi)}{\overline{V}}-\frac{2\overline{W}_z\cdot\cos(\theta-\delta\theta)\cdot\sin(\psi+\Delta\psi)}{\overline{V}}+\frac{\overline{W}^2}{\overline{V}^2}} =$$

$$= \overline{V}\sqrt{1-\frac{2\overline{W}_x\left(\cos\theta\cos\psi+\gamma_w\overline{W}_x\sin\psi+\gamma_M\overline{W}_z\sin\theta\cos\psi+\gamma_w\gamma_M\overline{W}_x\overline{W}_z tg\theta\sin\psi\right)}{\overline{V}}-\frac{2\overline{W}_z\left(\cos\theta\sin\psi-\gamma_w\overline{W}_x\cos\psi+\gamma_M\overline{W}_z\sin\theta\sin\psi-\gamma_w\gamma_M\overline{W}_x\overline{W}_z tg\theta\cos\psi\right)}{\overline{V}}+\frac{\overline{W}^2}{\overline{V}^2}}. \quad (20)$$

## Висновки

У статті проведено дослідження впливу постійного бокового та поздовжнього вітру на активній ділянці траєкторії, а також впливу перехресного вітру на політ некерованих оперених реактивних снарядів і реактивних снарядів, що обертаються.

Запропоновані математичні залежності (17–20) дозволяють врахувати прямий і перехресний вплив вітру на активній ділянці траєкторії, а також вплив вітру на пасивній ділянці траєкторії польоту некерованих оперених реактивних снарядів і реактивних снарядів, що обертаються. За допомогою наведених залежностей можна вирішувати практичні питання складання тимчасових Таблиць стрільби для перспективних зразків реактивних снарядів.

Подальшим напрямком досліджень є розрахунок за наведеними залежностями впливу вітру на політ реактивних снарядів і проведення порівняльного аналізу з дослідними даними.

## Список літератури


1. *Шапиро Я.М. Внешняя баллистика неуправляемых реактивных снарядов / Я. М. Шапиро. – М.: ВАИА им. Дзержинского, 1960. – 751 с.*
2. *Гантмахер Ф. Р., Левин Л. М. Теория полёта неуправляемых ракет / Ф.Р. Гантмахер, Л. М. Левин – М.: Издательство физико-математической литературы, 1959. – 356 с.*
3. *Внешняя и внутренняя баллистика активно-реактивных снарядов /[Орлов Б. В. и др.] – М.: ЦААА информации, 1978. – 134 с.*
4. *Равдин И. Ф. Внешняя баллистика неуправляемых реактивных снарядов / И. Ф. Равдин. – Л.: ВАА, 1972. – 184 с.*
5. *Лисенко В. М. Теорія польоту / В. М. Лисенко, Д. А. Грабчак, Д. А. Новак – Суми: СумДУ, 2006. – 203 с.*
6. *Исследование влияния параметров работы реактивного двигателя на дальность и кучность стрельбы реактивных снарядов / Макеєв В .І., Грабчак В .І., Трофименко П. Є., Пушкарьов Ю. І. // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС. – 2008. – Вип. 6 (73). – С. 77-81.*


*Надійшла до редакції 22.11.2008*

**Рецензент**: доктор технічних наук, старший науковий співробітник А. М. Зубков, Львівський інститут Сухопутних військ, Львів.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕТРА НА ПОЛЕТ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ОПЕРЕННЫХ И ВРАЩАЮЩИХСЯ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ**

В. И. Макеев, В. И. Грабчак, П. Е. Трофименко, Ю. И. Пушкарев

*В статье исследуется влияние постоянного бокового и продольного ветра на активном участке траектории, а также влияние перекрестного ветра на полет неуправляемых оперенных реактивных снарядов. Рассматриваются особенности влияния постоянного ветра на полет турбореактивного снаряда на активном участке траектории. Предложены математические зависимости, позволяющие отдельно учесть боковое и продольное, прямое и перекрестное влияние ветра на активном участке траектории, полета неуправляемых оперенных и вращающихся реактивных снарядов, а также учесть влияние ветра на пассивном участке траектории их полета.*

***Ключевые слова**: активный и пассивный участок траектории, оперенные и вращающиеся реактивные снаряды, аэродинамические силы и моменты, боковой и продольный, прямой и перекрестный ветер.*

**RESEARCH OF INFLUENCING OF WIND ON FLIGHT OF THE NON-CONTROLLED WINGED JET PROJECTILES AND REVOLVING JET PROJECTILES**

V. I. Makeyev, V. I. Grabchak, P. E. Trophimenko, Y. I. Pushkaryov

*The influence of permanent lateral and longitudinal wind on the active area of trajectory is explored in the article, and cross wind influence on flight of the non-controlled winged jet projectiles. The features of influence of permanent wind on flight of turbojet projectiles on the active area of trajectory are examined. There are offered mathematical dependences which allow to consider separately lateral and longitudinal, direct and cross influence of wind on the active area of trajectory of flight of the non- controlled winged projectiles and revolving projectiles, and also to consider influence of wind on the passive area of trajectory of their flight.*

***Keywords:** active and passive area of trajectories, winged jet projectiles and revolving jet projectiles, aerodynamic forces and moments, lateral and longitudinal wind, direct and cross wind.*

УДК 621.317

С. В. Герасимов, А. О. Подорожняк, Ю. Б. Прібилєв

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

# РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИБОРУ КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ РУХОМОЇ ПУСКОВОЇ УСТАНОВКИ

*У статті розглядається спосіб підвищення ефективності використання, підвищення живучості ракетного озброєння за рахунок удосконалення системи технічного контролю та діагностування рухомих пускових установок. Запропоновані три способи підвищення контролепридатності автомобільного тягача – бази рухомої пускової установки. Розроблена методика вибору контрольованих параметрів автомобільного тягача, яка враховує особливості запропонованих способів підвищення контролепридатності. Сформульовані задачі оптимізації витрат при контролі та діагностуванні автомобільного тягача, які є основою методики.*

***Ключові слова**: контрольовані параметри, контролепридатність, система технічного контролю та діагностування.*

## Вступ

**Постановка проблеми**. Ведення бойових дій із застосуванням сучасної зброї вимагає швидкого маневрування військ, їх швидкого зосередження, перегрупування для успішного проведення операцій, тому удосконалення системи технічного забезпечення рухомої пускової установки (РПУ) для ракетних, зенітних ракетних комплексів є актуальною задачею [1]. Основною особливістю рухомого (мобільного) ракетного комплексу є те, що місце пуску ракети може бути змінено у визначених межах. У зв'язку з цим виникає можливість створення для супротивника невизначеності в знанні місця розташування пускових установок із ракетами на момент завдання ним удару по району базування РПУ і забезпечення тим самим умов для підвищення скритості комплексів.

**Аналіз літератури**. Аналіз літератури показав, що перспективним напрямком створення РПУ є створення пускових установок на базі автомобільного тягача [2, 3].

Технічне обслуговування (ТО) та діагностування автомобільного тягача та його окремих агрегатів спрямовано в цілому на вирішення одного чи декількох завдань: на визначення технічного стану (справний чи несправний), пошук і локалізацію місця відмовлення чи несправності; на прогнозування залишкового ресурсу імовірності