

УДК 629.73:623.557(045)

**СІЛАКОВ І.А.**, доцент кафедри Національного авіаційного університету, кандидат технічних наук, доцент

**ЄГОРОВ С.Н.**, завідувач кафедри Національного авіаційного університету, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

**ТАРАНЕНКО В.В.**, начальник науково-дослідного відділу, кандидат технічних наук

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО ДІЙСНИХ ПОМИЛОК СТРІЛЬБИ В АВІАЦІЙНИХ ПРИЦІЛЬНИХ СИСТЕМАХ**

*Пропонуються шляхи підвищення ефективності стрільби з авіаційних артилерійських установок за рахунок введення фактичних систематичних прицільних поправок*

*Ключові слова: прицільні системи стрільби, промах, прицільна поправка*

За столітню історію розвитку авіаційні прицільні системи стрільби (ПСС) пройшли шлях від окомірних способів прицілювання до напівавтоматичних ПСС винищувачів п'ятого покоління і практично повністю автоматизованих ПСС вертольотів четвертого покоління. У початковий період розвитку авіаційного озброєння, враховуючи низьку точність окомірних способів прицілювання, цілком припустимими були його швидкострільність, великі витрати боєприпасів та площі розсіювання снарядів.

У прицільних системах стрільби сучасних літальних апаратів (ЛА) використовується інформація від значної кількості датчиків про параметри руху цілі, ЛА, снаряду, стан атмосфери і потужні обчислювальні машини.

У наземній артилерії спостережувані або вимірювані промахи снарядів завжди були основним параметром керування. У бортових комплексах озброєння сучасних ЛА відсутні вимірювачі фактичних промахів артилерійських снарядів. Тому в наявних авіаційних ПСС основним параметром керування є не фактичний, а розрахунковий промах. Тобто, процес прицілювання в наземній артилерії замкнутий за дійсними помилками стрільби (вимірюваними промахами), а в авіації, на жаль – лише за розрахунковими.

Будь-яка прицільна система працює з сумарною помилкою, яка має випадкову і систематичну складові. Величину випадкової складової можна зменшити, застосовуючи різні методи фільтрації [1]. При цьому постає питання визначення саме систематичної складової. Цілком очевидно, що без вимірювання дійсних помилок стрільби не можливо навіть отримати інформацію про неї. Раніше, як правило, під час випробувань бортових комплексів авіаційного озброєння робилися

спроби отримати інформацію щодо дійсних помилок прицілювання і стрільби з артилерійської зброї. При цьому, траєкторії снарядів реєструвалися за допомогою спеціально встановленої фотоконтрольної апаратури. Обчислення промахів виконувалося після посадки ЛА, проявлення, закріплення, дешифрування фотоплівок. Така технологія давала змогу отримати інформацію про дійсні помилки стрільби, але її важко було ефективно в подальшому використати на серійних ЛА в конкретних умовах повітряного бою.

Низька ефективність застосування сучасної авіаційної артилерійської зброї по повітряних цілях полягає в її використанні без вимірювання та врахування дійсних помилок прицілювання в найбільш важких бойових умовах – при стрільбі з високоманевреного ЛА по високоманевреній цілі. Основний недолік прийнятого в даний час способу прицілювання, побудованого на принципі замкнутості за розрахунковими помилками – можливість повторення помилок прицілювання від стрільби до стрільби. Без усунення повторюваних (систематичних) помилок прицілювання будь-які вдосконалення авіаційного артилерійського озброєння, як показала історія його розвитку, будуть малоефективні. Це припущення підтверджується високою ефективністю артилерійської установки “Вулкан-Фаланкс”, яка побудована на принципі замкнутості за вимірюваними промахами артилерійських снарядів [2]. У корабельній протиракетній установці “Вулкан-Фаланкс” замикання процесу прицільної стрільби досягнуто завдяки наявності у складі системи прицілювання радіолокатора, який вимірює одночасно координати снарядів і прицільної системи. Завдяки цьому вона здатна використовувати інформацію щодо дійсних помилок прицілювання для підвищення точності стрільби.

З метою визначення можливості побудови такої системи та вивчення особливостей її функціонування розглянемо, в першому наближенні, особливості вимірювання та використання інформації щодо промахів артилерійських снарядів в авіаційних ПСС. Будемо вважати, що у складі комплексу озброєння ЛА є вимірювач фактичних промахів. Прийmemo також ще ряд інших не принципових припущень, які суттєво спрощують указаний розгляд:

1. У прицільній системі в якості сумарної поправки розглядається поправка на випередження (не враховуються поправки на зниження снаряду, паралакс і бортовий ефект).

2. Вимірювання координат цілі та снарядів виконується без помилок.

3. Система керування наводить зброю точно в потрібне положення (помилка наведення дорівнює нулю).

4. Завдання прицілювання і вимірювання промаху вирішується для одного пострілу (не враховуються довжина черги і розсіювання снарядів).

5. Під час польоту снаряду у випереджене положення ціль рухається з постійною швидкістю.

На схемі прицілювання (рис. 1), побудованої з урахуванням цих припущень, точка  $O_0$  відповідає положенню ЛА в момент виконання стрільби по цілі, яка знаходиться в точці  $C_0$  на дальності  $\bar{D}_0$ . Вектор  $\bar{P}_{c_0}$  – прогнозований шлях цілі у

випереджене положення  $C_{y0}$ , а вектор  $\bar{D}_{y0}$  – розрахункова дальність польоту снаряду. Кутова прицільна поправка позначена  $\psi_0$ . За час польоту снаряду до цілі ЛА пройде шлях  $\bar{P}_n$  і знаходитиметься в точці  $O_1$ , ціль – в точці  $C_{y0}$ , а снаряд – у точці  $C_0$ . У точці  $O_1$  рухомий візирний пристрій ЛА, що стежить за ціллю, вимірює

дальність до цілі  $\bar{D}_{c10}$ , а вимірювач координат снаряду – дальність до снаряду  $\bar{D}_{c10}$ . Вектор  $\bar{\Delta} = \bar{D}_{c10} - \bar{D}_{y10}$  (1)

являє собою вимірне значення промаху снаряду, випущеного в точці  $O_0$ .

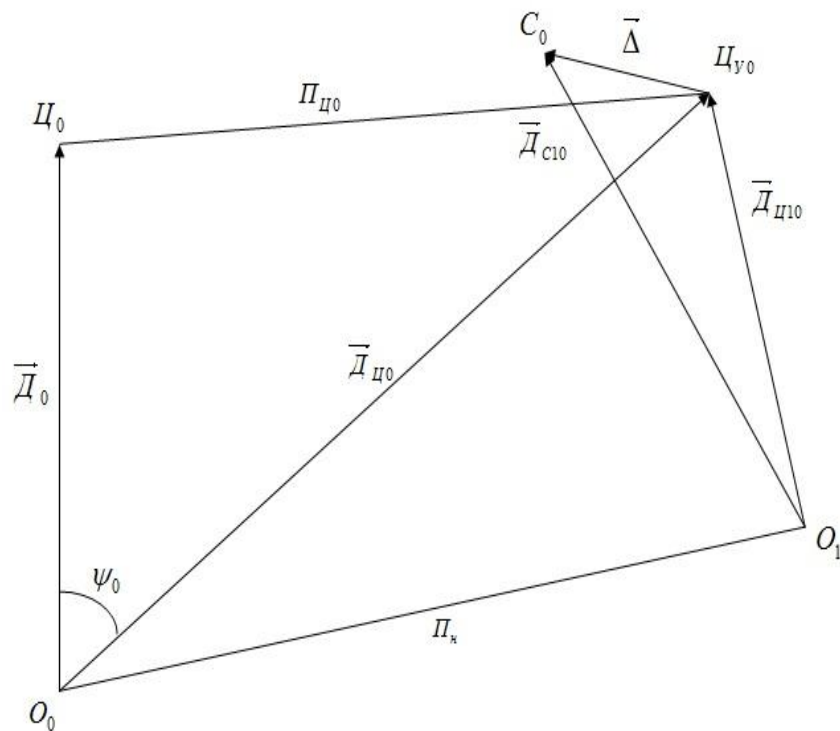


Рис. 1. Схема прицілювання при стрільбі з артилерійської зброї

На підставі аналізу схеми прицілювання (рис. 1) можна зробити висновок про те, що постріл снаряду і вимір його промаху виконуються в різний час і в різних точках простору (т.  $O_0$  і  $O_1$ ). Перша обставина типова для всіх артсистем: промах можна виміряти через певний інтервал часу після пострілу, і цей інтервал не може бути менше часу польоту снаряду до цілі. Друга – притаманна авіаційній артилерії і вносить певні особливості в процес використання в авіаційних ПСС інформації про промах снаряду, постріл якого був виконаний раніше.

Для розуміння цих особливостей розглянемо схему прицілювання (рис. 2), в якій додатково до схеми (рис. 1) побудована розрахункова прицільна поправка  $\psi_1$  для стрільби в точці  $O_1$ . При цьому вектор  $\bar{P}_{y1}$  представляє прогнозований рух цілі за час польоту снаряду на випереджену дальність  $\bar{D}_{y11}$  в точку  $C_{y1}$ .

Розглянемо, як слід змінити прицільну поправку  $\psi_1$  на підставі інформації про промах снаряду, постріл якого відбувся раніше в точці  $O_0$ . Для спрощення

розглядаємого питання, прийнемо найбільш просте припущення про те, що при стрільбі в стабільних умовах систематична складова промаху (далі – промах) має властивість повторюватися. За відсутності бази даних про дійсні помилки стрільби підставою для такого припущення в авіаційній артилерії можуть бути прийняті в даний час методи прицілювання, які розраховані на випадок застосування в стабільних умовах повітряного бою, а також стислих часових інтервалів між повторними прицільними стрільбами.

Припущення про сталість промаху під час повітряного бою не є принциповим. Наприклад, якщо промах змінюється з постійною швидкістю (прискоренням), то для визначення цієї швидкості необхідно зробити не одне, а два (три) вимірювання промаху з одночасним виміром часових інтервалів між ними та наступним обчисленням швидкості (прискорення) зміни промаху.

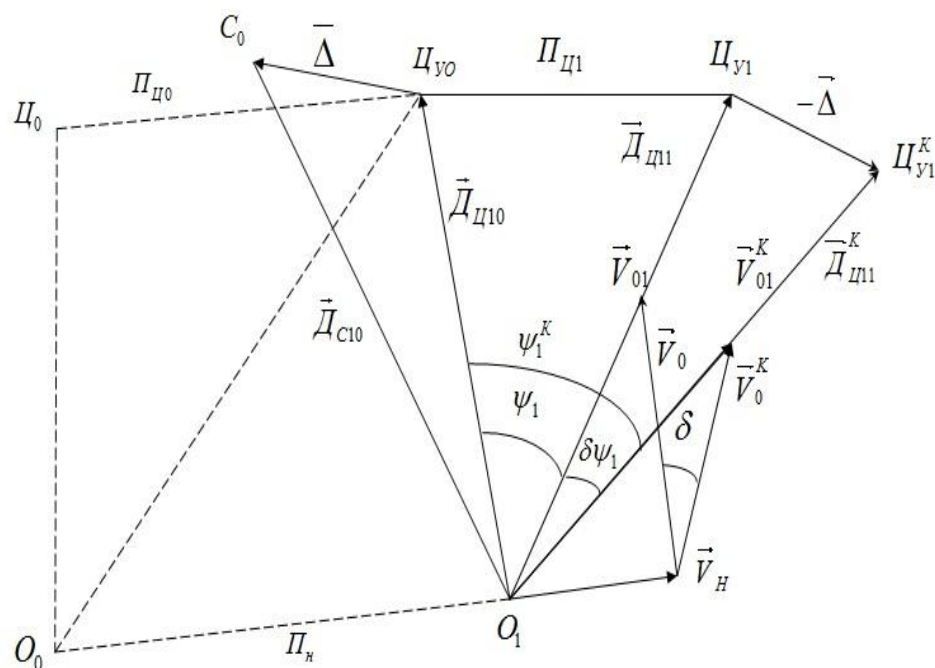


Рис. 2. Схема прицілювання при стрільбі з артилерійської зброї з розрахунковою прицільною поправкою

Отже, при припущенні про сталість вимірюного промаху під час повітряного бою для врахування інформації щодо промаху, отриманої для більш раннього моменту пострілу в точці  $O_0$ , при обчисленні прицільної поправки для стрільби в точці  $O_1$ , необхідно від розрахункового значення випередженого положення цілі  $C_{y1}$  відкласти вектор промаху з протилежним знаком. Кінець вектора промаху  $-\bar{\Delta}$  визначить скориговане значення вектора дальності польоту снаряду  $\bar{D}_{y11}^k$  в нове випереджене положення цілі  $C_{y1}^k$ . Кут  $\delta\psi_1$  між векторами  $\bar{D}_{y11}$  і  $\bar{D}_{y11}^k$  (або між векторами потрібного розрахункового  $\bar{V}_{01}$  і скоригованого  $\bar{V}_{01}^k$  значень абсолютної початкової швидкості снаряду) являє собою необхідну зміну прицільної поправки  $\psi_1$  з урахуванням інформації щодо прогнозованого промаху  $\bar{\Delta}$  після пострілу в точці

$O_1$ . Практична реалізація скоригованої прицільної поправки  $\Psi_1^e$  на сучасних ЛА здійснюється приведенням вектора відносної початкової швидкості снаряду  $\vec{V}_0$  в потрібний напрямок  $\vec{V}_0^e$ .

Інформація про дійсні помилки (промахи) попередньої стрільби повинна бути використана в приблизно однакових умовах повітряного бою і з мінімальним часовим інтервалом між стрільбою і використанням інформації про промахи.

Якщо знехтувати часом на виконання обчислень, цей інтервал визначається часом польоту снаряду до цілі, довжиною черги і часом відпрацювання прицільної поправки. На відміну від перших двох доданків, якість відпрацювання поправки залежить від типу системи керування наведенням зброї. Найбільш швидко і точно ця операція може бути виконана при використанні методу прицілювання та керування зброєю, реалізованого на вертольотах четвертого покоління, до складу комплексів озброєння яких входить рухома гарматна установка. На винищувачах застосовується зброя, нерухомо встановлена уподовж вісі літака і, як наслідок, напівавтоматична система керування літаком (наводкою зброї). У цьому випадку час і точність відпрацювання кутової прицільної поправки залежить від характеристик системи керування літаком, майстерності льотчика та складності умов бойового застосування. Швидкоплинність повітряних боїв за участю винищувачів роблять малоймовірною повторну прицільну стрільбу в ході бою, а в разі її виконання через недостатню швидкодію і точність роботи системи керування наводкою нерухомо встановленої зброї винищувача можуть привести до зниження ефективності використання інформації про результати вимірювання промаху. Авіаційні артилерійські установки мають менші боєкомплекти в порівнянні з артустановками корабельної та сухопутної зенітної артилерії. Тому в авіації стрільбу виконують короткими прицільними чергами. Для обліку інформації про дійсні помилки стрільби необхідно виконати, як мінімум, дві черги. У ході першої (пристрілювальної) вимірюють промахи, інформацію про які використовують під час прицілювання перед другою чергою. Якщо в ході повітряного бою є можливість виконати більше двох черг, то функція пристрілювання покладається на кожен попередню чергу.

Промах – це мінімальна відстань між ціллю та снарядом. На ЛА координати цілі вимірюються візирним пристроєм, який автоматично слідує за ціллю. Отже, для визначення промаху необхідно виміряти координати снаряду в момент настання промаху та обчислити різницю в координатах цілі і снаряду. Координати артилерійських снарядів можуть бути виміряні за допомогою інформаційних каналів, що входять до складу комплексів озброєння сучасних ЛА: радіолокаційного, телевізійного або тепловізійного.

Основна перевага радіолокаційного каналу полягає в можливості вимірювання трьох координат об'єкта спостереження. Для визначення промахів при використанні радіолокаційного каналу достатньо забезпечити вимірювання координат снаряду і обчислити різницю між відповідними координатами цілі та снаряду в момент рівності виміряних дальностей до снаряду і цілі. Враховуючи досить високу точність вимірювання координат цілі автоматичними візирними пристроями

ЛА [3], можна очікувати, що загальна точність вимірювання промаху залежатиме, в основному, від помилок вимірювання координат снарядів бортовим радіолокатором. Безумовна перевага радіолокаційного вимірювача координат снарядів – у можливості працювати в умовах пилу, туману, атмосферних опадів.

Раніше зазначалося, що вимірювання промахів артилерійських снарядів радіолокаційним способом вже реалізовано в артилерійській корабельній установці “Вулкан-Фаланкс” [2], в якій використовується авіаційна гармата “Вулкан”. Порівняємо найбільш важливі показники, що визначають ефективну поверхню розсіювання і характеризують умови вимірювання координат і промахів снарядів у радіолокаційних каналах установки “Вулкан-Фаланкс” і сучасних ЛА. Радіолокатор установки “Вулкан-Фаланкс” працює в діапазоні довжин хвиль 2 см і вимірює промахи артилерійських снарядів калібром 20 мм на дальності до 5 км. На вертольотах 4-го покоління АН-64D (США) і Мі-28 Н (РФ) використовується міліметровий радіолокаційний канал і авіаційні гармати калібром 30 мм. Бортові радіолокатори пошуку та супроводу повітряних цілей літаків-винищувачів п'ятого покоління виконані із застосуванням технології активної фазованої антенної решітки і працюють у діапазоні довжин хвиль 1...2 см [3]. Максимальна дальність прицільної стрільби по повітряних цілях на порядок менша відповідної дальності стрільби установки “Вулкан-Фаланкс” по протикорабельних ракетах. Таким чином, в даний час технічні умови вимірювання промахів авіаційних артилерійських снарядів за допомогою радіолокаційного каналу ЛА є більш сприятливими в порівнянні з відповідними умовами та характеристиками артустановки “Вулкан-Фаланкс”.

Необхідно також оцінити можливості вимірювання промахів в телевізійному і тепловізійному інформаційних каналах ЛА. У кожному з них артилерійські снаряди можуть мати певний рівень контрасту відносно зовнішнього середовища. Дно снаряду нагрівається під час пострілу в каналі ствола, а потім корпус – під час руху снаряду з високою швидкістю в атмосфері. Тепло, яке випромінює снаряд, може бути використано для ідентифікації та вимірювання його координат в тепловізійному каналі. У телевізійному каналі для цієї цілі можуть бути застосовані трасуючі снаряди.

Основний недолік вимірювачів промахів в телевізійному і тепловізійному інформаційних каналах полягає у неможливості вимірювання дальності до об'єкта спостереження. Як наслідок, вимір промаху може бути заснований на визначенні моменту часу, коли розрахункова дальність польоту снаряду зрівняється з поточною вимірюваною дальністю до цілі. Розрахунок дальності польоту снаряду виконується з помилками, зумовленими помилками у вимірі параметрів руху ЛА, невідповідністю між реальними і розрахунковими значеннями початкової швидкості і балістичних характеристик снаряду тощо. Промах являє собою мінімальну відстань між траєкторіями цілі та снаряду, які швидко змінюють своє положення в просторі. Тому помилки в розрахунку моменту вимірювання промаху можуть привести до істотного зниження точності вимірювання вектора промаху в телевізійному і тепловізійному каналах. На підставі попереднього аналізу технічних можливостей визначення (промахів) авіаційних артилерійських снарядів на базі одного з інформаційних

каналів, що входять до складу комплексів озброєння сучасних ЛА, можна зробити висновок, що в даний час радіолокаційний вимірювач координат (промахів) артилерійських снарядів має певні переваги і більше підготовлений для практичної реалізації поставленого завдання в порівнянні з відповідними вимірювачами, розробленими на основі телевізійного і тепловізійного каналів.

Авіаційне артилерійське озброєння залишається складовою частиною комплексів озброєння сучасних і перспективних ЛА. Вимірювання промахів артилерійських снарядів і використання інформації щодо них в авіаційних ПСС слід розглядати як один з можливих шляхів підвищення його ефективності. Для оцінки та перевірки вищенаведених пропозицій необхідно розробити бортовий вимірювач координат і промахів артилерійських снарядів і дослідити реальні можливості використання інформації щодо промахів в авіаційних ПСС залежно від умов бойового застосування, типів системи прицілювання і керування зброєю, тривалості часового інтервалу між пристрілювальною і наступною стрільбою. Кінцева ціль таких досліджень – створення авіаційних ПСС, замкнутих за дійсними помилками прицілювання.

#### **Висновки.**

1. Низька ефективність авіаційного артилерійського озброєння при стрільбі по повітряних цілях є наслідком низької точності авіаційних прицільних систем, які побудовані на принципі замкнутості за розрахунковими, а не дійсними помилками стрільби.

2. Невідповідність між технічним рівнем розвитку прицільних систем стрільби та ефективністю бойового застосування авіаційного артилерійського озброєння в цілому може бути подолана використанням інформації про дійсні помилки стрільби для корекції методів прицілювання.

3. Необхідною умовою використання в авіаційних прицільних системах інформації про дійсні помилки стрільби є введення до складу бортового комплексу озброєння ЛА вимірювача координат (промахів) артилерійських снарядів.

4. На підставі попереднього аналізу можна зробити висновок, що радіолокаційний канал ЛА потенційно більш пристосований для створення на його основі вимірювача координат (промахів) авіаційних артилерійських снарядів порівняно з телевізійним і тепловізійним інформаційними каналами.

5. У даний час найбільшого ефекту від використання в авіаційних прицільних системах інформації про дійсні помилки стрільби слід очікувати в артилерійському озброєнні вертольотів четвертого покоління, до складу комплексу озброєння яких входить радіолокаційний інформаційний канал і система автоматичного керування прицілюванням і стрільбою рухомої гарматної установки.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Мубаракшин Р.В., Ким Н.В., Красильщиков М.Н., Саблин Ю.А., Шингирий И.П. Бортовые информационно-управляющие средства оснащения летательных аппаратов.– М: МАИ, 2003. – 380 с.

2. А. Широкоград. Российские корабельные комплексы ближней самообороны нужно совершенствовать// Независимое военное обозрение. – М: “Независимая газета”, 30.12.2011.
3. Системы управления вооружением истребителей: Основы интеллекта многофункционального самолета/ РАН; Л.Е. Баханов и др.; под ред. Е.А. Федосова. – М: Машиностроение, 2005.– 400 с.

*Надійшла до редакції 03.11.2014*