

П.П. Шабанов

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ КОРЕКЦІЇ КОРЕГОВАНИХ АВІАЦІЙНИХ БОМБ. ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

У статті розглядаються сучасні тенденції та перспективи розвитку систем корекції траєкторії польоту керованих авіаційних бомб (КАБ), які є ключовим елементом підвищення ефективності авіаційних засобів ураження. Розглядаються технологічні досягнення, що дозволяють значно покращити точність наведення на ціль, зокрема за рахунок зменшення похибок в умовах дії зовнішніх факторів. Акцентується увага на стратегічних перевагах цих систем, включаючи їх здатність мінімізувати супутні збитки, оптимізувати використання ресурсів та підвищити спроможність авіації збройних сил щодо ураження широкої номенклатури об'єктів ураження, у тому числі укріплених цілей. Підкреслюється роль інноваційних підходів у розробці систем корекції, зокрема інтеграції сучасних алгоритмів обробки даних, GPS-наведення та інерціальних систем.

У статті проведено аналіз ключових переваг використання систем корекції для КАБ, що відносяться до високоточної зброї. Розглянуто основні тенденції у розвитку цих систем, включаючи інтеграцію передових технологій наведення, та окреслено перспективи їх подальшого розвитку. Дослідження підкреслює зростаючу важливість КАБ у сучасних військових конфліктах завдяки їхній ефективності, точності та економічності порівняно з крилатими ракетами.

Ключові слова: *авіаційні бомби, авіаційні боєприпаси, універсальний модуль планування та корекції, високоточні засоби ураження, ефективність ураження.*

Вступ

Сучасні воєнні конфлікти характеризуються зростаючою роллю високоточної зброї, яка дозволяє досягати максимального ефекту при мінімальних втручаннях та втраті ресурсів. У цьому контексті універсальні модулі планування та корекції авіаційних бомб стали ключовим елементом модернізації засобів авіаційного ураження. Вони забезпечують можливість адаптивного керування траєкторією бомби під час польоту, значно підвищуючи точність наведення та відповідно ефективність ураження, зменшуючи супутні втрати серед цивільного населення.

Технології, які включають використання систем глобального позиціонування (GPS), інерціальних навігаційних систем і алгоритмів штучного інтелекту, дозволяють застосовувати авіаційні бомби в складних умовах, зокрема в зоні радіоелектронної боротьби. Такі системи корекції стають незамінними у веденні бойових дій, де пріоритет надається швидкому реагуванню, мінімізації ресурсів і забезпеченню високої точності.

Глобальні тенденції розвитку подібних систем демонструють значне зростання попиту на багатофункціональні рішення, здатні інтегруватися в існуючі платформи без необхідності повного переоснащення авіації. Водночас держави-лідери у

військовій сфері активно інвестують у дослідження та розробки, що сприяє створенню нових стандартів у застосуванні авіаційних засобів ураження.

Керовані авіаційні бомби (КАБ) являють собою високоточний засіб ураження, який поєднує значну руйнівну силу бойової частини авіаційної бомби вільного падіння з точністю наведення. Модернізація звичайних авіаційних бомб вільного падіння шляхом додавання систем корекції та керування дозволяє значно підвищити їхню бойову ефективність, перетворюючи їх на зброю, здатну знищувати точкові цілі з мінімальним супутнім збитком.

Актуальність статті визначається трьома ключовими факторами:

1. Сучасні військові конфлікти, особливо в умовах обмеженого міського середовища або необхідності ураження високозахищених об'єктів, вимагають застосування зброї, здатної мінімізувати супутній збиток. КАБ, завдяки своїй точності, є оптимальним засобом для таких операцій.

2. Інтенсивний розвиток систем радіоелектронної боротьби (РЕБ) створює пряму загрозу для зброї, що використовує лише GPS-наведення. Це стимулює необхідність аналізу та розробки стійких мультисенсорних систем корекції, що поєднують різні канали наведення (ІНС, GPS, оптичні, лазерні) для забезпечення надійності.

3. На тлі обмеженості військових бюджетів, необхідність мати великий арсенал високоточної зброї змушує шукати економічно вигідні рішення. Аналіз переваг систем корекції дозволяє обґрунтувати їхню значну ефективність щодо показника “вартість-ефективність” порівняно з крилатими ракетами.

Військово-повітряні сили провідних країн світу сьогодні значною мірою покладаються на високоточну зброю для досягнення своїх тактичних та стратегічних цілей. Керовані авіаційні бомби (КАБ), що поєднують значну руйнівну силу некерованих боєприпасів із точністю сучасних систем наведення, займають особливе місце у цьому арсеналі. Вони являють собою економічно ефективну альтернативу дорогим крилатим ракетами, пропонуючи здатність до високоточного ураження стаціонарних та рухомих цілей із мінімальним круговим імовірним відхиленням (КІВ).

Розвиток технологій, зокрема інтеграція Глобальних Навігаційних Супутникових Систем (GPS, наприклад, GPS, GLONASS, Galileo) та високоточних Інерціальних Навігаційних Систем (ІНС), дозволив створити модульні комплекти (наприклад, JDAM – Joint Direct Attack Munition), які модернізують існуючі некеровані бомби, значно підвищуючи їхню бойову цінність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням бойового застосування ЛА у зоні дії ЗРК присвячена значна кількість публікацій, наприклад [1, с. 265...276], але у відомих публікаціях практично не розглядаються питання застосування КАБ у зоні дії засобів ППО ближнього та малого радіусу дії, коли ЛА виконує бомбометання зі складного виду маневру, одночасно виконуючи протиракетний маневр. Не розкритими також є питання обґрунтування раціональних значень величини горизонтального віднесення КАБ, які б забезпечували виключення можливості ураження ЛА засобами ППО ближнього та малого радіусу дії.

Попри значні успіхи у впровадженні систем корекції КАБ, існує наукова задача, що полягає у необхідності систематизації та прогнозування подальшого розвитку цих технологій в умовах швидкого зростання загроз, зокрема від високотехнологічних систем ППО та РЕБ.

Сучасні системи корекції стикаються з викликами, пов'язаними із забезпеченням максимальної точності на великих відстанях планерування, стійкості до інтенсивних перешкод та здатності уражати цілі, що маневрують в умовах відсутності або придушення супутникового сигналу.

Метою статті є проведення комплексного аналізу характеристик існуючих систем корекції

керованих авіаційних бомб, визначення поточних технологічних тенденцій їхнього розвитку та обґрунтування перспективних напрямків модернізації для підвищення бойової ефективності та надійності в умовах протидії.

Виклад основного матеріалу

З появою універсальних модулів планерування та корекції авіаційних бомб розпочалася нова ера в історії ведення воєнних конфліктів. Розглянемо провідні країни світу, які активно ведуть розробку над створенням та модернізацією існуючих систем наведення для авіаційних бомб:

1. США: Joint Direct Attack Munition (JDAM) та його модернізації JDAM (рис. 1) є провідним зразком модулів для корекції авіаційних бомб [2, 3]. Система складається з хвостової секції, що додає GPS та інерціальну систему навігації. JDAM перетворює “вільнопадаючі” бомби на високоточні засоби ураження з точністю наведення, що складає кругове імовірне відхилення 10 метрів.



Рис. 1. Зовнішній вигляд бомби (JDAM)
Джерело: [5]

JDAM-ER (Extended Range) (рис. 2) додає попередньо встановлені крила для збільшення дальності польоту до 70 км. Ця версія використовується у сучасних військових операціях, наприклад, у боротьбі з тероризмом і під час конфліктів у Сирії та Афганістані. JDAM-ER активно передається нашій країні для протистояння російській агресії. [4]. Технологічними особливостями є використання модульної конструкції, яка легко адаптується до різних типів боєприпасів (227-кг, 454-кг, 907-кг бомби). Крім того, існує можливість інтеграції штучного інтелекту для автоматичної корекції траєкторії у реальному часі.

JDAM високоточний модуль для перетворення звичайних авіабомб у керовані боєприпаси, розроблений Сполученими Штатами Америки [5]. Його можна використовувати в різних погодних умовах і незалежно від часу доби. JDAM

перетворює звичайні авіаційні бомби на точну зброю, яка здатна уражати цілі з високою точністю.



Рис.2. Планеруючі бомби JDAM-ER
Джерело: [5]

Комплектація модулем GPS – JDAM оснащує авіабомби інерціальною та GPS-навігаційною системою. Це дозволяє здійснювати точне наведення бомби на ціль, зменшуючи розсіювання і помилки навіть за умов радіоелектронних перешкод для навігації.

Керованість – Модуль дозволяє керувати авіабомбою від моменту скидання моменту влучання і ціль.

Універсальність – JDAM можна інтегрувати з бомбами різного калібру, таких як GBU-31, GBU-32, та GBU-38.

JDAM значно підвищило дальність, точність і ефективність ударів української авіації [6]. В умовах війни з росією застосування JDAM дозволяє знижувати ризики для льотного складу і підвищувати точність наведення та забезпечувати ураження ворожих цілей. Завдяки JDAM, наші військові можуть здійснювати удари по ключових ворожих об'єктах, включно з командними пунктами, складами, та іншими стратегічно важливими об'єктами.

AGM-154 Joint Standoff Weapon – це тактична планеруюча керована авіаційна бомба, призначена для ураження широкого спектру стаціонарних і рухомих цілей за межами зон ППО, розроблена підрозділом Defense Systems & Electronics американської компанії Texas Instruments (продано компанії Raytheon) [7].

AGM-154 JSOW розроблена в кількох варіантах:

AGM-154A (Baseline JSOW) – оснащена касетною бойовою частиною зі 145 суббоєприпасами BLU-97/B;

AGM-154B (Anti-Armor) касетна бойова частина з шістьма суббоєприпасами BLU-108/B;

AGM-154C (оснащена ІЧ ГСН) – з тандемним боєприпасом BROACH.

AGM-154A-1 (JSOW-A1) — 480-фунтова бомба BLU-111/B (модифікована Mk.82, начинена менш чутливим WP PBXN-109 замість Composition

H6), для посилення фугасної дії без ризику нерозірваних суббоєприпасів ER (Extended Range) оснащена ТРД Hamilton-Sundstrand TJ-150 (рис. 3).



Рис.3. Планеруюча бомба AGM-154A-1
Joint Standoff Weapon(JSOW -A1)
Джерело: [7]

Носії: F-16C/D, F-15E, F-117 (раніше), B-1B, B-2 Spirit та B- 52. Тактико-технічні характеристики AGM-154 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Тактико-технічні характеристики AGM-154

Довжина, м	4,06 м
Діаметр, мм	406-519 мм
Розмах крила, м	2,69
Дальність при пуску з малих висот, км	24 км (12 морських миль – деякі дані 28 км)
при пуску з висоти	130 км (70 миль)/деякі дані - 110 км/60 миль
з двигуном	до 560 км (300 миль)
Максимальна вага, кг	495
Тип БЧ	WDU-42/B бронебійна з термобаричним наповнювачем AFX-757
Максимальна вага БЧ, кг	450

Джерело: [7]

2. Китай: CM-102 (рис. 4) базується на системах корекції з додатковими можливостями для ураження радарів і військової інфраструктури противника. Китай активно розвиває ці системи для розширення своїх експедиційних можливостей і експорту на міжнародний ринок. [8]

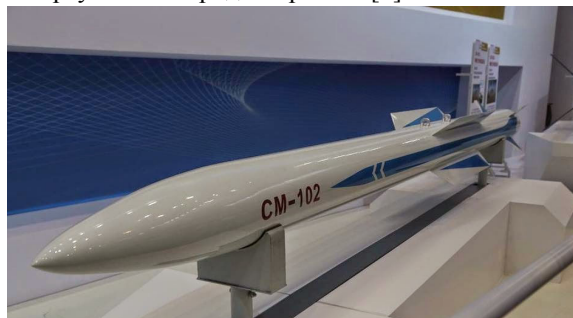


Рис.4. Китайська ракета CM-102
Джерело: [8]

3. Ізраїль: Spice (рис. 5). Вона відрізняється використанням електрооптичного наведення та відсутністю залежності від GPS, що робить її надзвичайно ефективною у умовах радіоелектронної боротьби. Основними особливостями Spice є використання технологій розпізнавання цілей із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту. Дальність дії досягає 100 км, що значно перевищує можливості більшості інших систем. Ця система широко використовується ізраїльською авіацією для високоточних ударів по стратегічних цілях [9].



Рис. 5. Високоточних бомб Spice
Джерело: [9]

4. Франція: AASM Hammer (рис. 6). Франція є одним із провідних розробників високоточних авіаційних боєприпасів, які використовуються для виконання стратегічних завдань. AASM (Armement Air-Sol Modulaire) Hammer є однією з найбільш інноваційних систем керованого озброєння. Ця система додає інтелектуальні модулі до звичайних некерованих бомб і дозволяє перетворити їх на високоточні боєприпаси з розширеним діапазоном ураження. Модулі наведення: доступні варіанти з GPS, інерціальною системою, лазерним наведенням і тепловізором. Дальність дії складає до 60 км у стандартній конфігурації та до 70 км із додатковими крилами. Особливості універсальності модульної конструкції дозволяють адаптувати AASM до завдань, включаючи удари по рухомих цілях. Hammer використовується французькими винищувачами Rafale і Mirage 2000 та українськими винищувачами МиГ-29 [10]. AASM (Armement Air-Sol Modulaire) Hammer оснащений твердопаливним ракетним двигуном у задньому модулі розширення, що значно збільшує його радіус дії. Двигун дозволяє боєприпасу досягати цілей на відстані до 60 кілометрів при запуску з великої висоти.



Рис. 6. Керована Авіабомба AASM Hammer
Джерело: [11]

Їх ефективність була підтверджена під час бойових операцій у Сирії та Малі, де було продемонстрована здатність завдавати ударів з високою точністю навіть у складних умовах.

Французька розробка AASM Hammer, демонструє високу інноваційність та універсальність, що робить їх одними з найкращих у світі для виконання завдань із високою точністю. Вони слугують прикладом того, як сучасні технології перетворюють звичайні боєприпаси на високоточні системи ураження, здатні вирішувати стратегічні та тактичні завдання.

5. Туреччина: HGK та KGK. Туреччина активно розвиває свої системи корекції, такі як HGK (Hassas Güzüm Kiti) та KGK (Kanatlı Güzüm Kiti). HGK (рис. 7) перетворює традиційні авіабомби на високоточні засоби ураження з GPS-наведенням. KGK додає складні крила, що збільшують дальність польоту до 80 км. Ці системи активно експортуються до країн Близького Сходу та Африки.



Рис. 7. Bayraktar TB2 КАБ HGK-84
Джерело: [12]

6. Універсальний модуль планерування та корекції (УМПК) росії (рис. 8) є спробою адаптувати застарілі радянські авіабомби до сучасних вимог [13]. Він базується на використанні складних крил та супутникового наведення для досягнення дальності до 70 км. Однак, УМПК демонструє значну відсталість у точності та технологіях порівняно з західними аналогами. Наприклад, система залежить від точності супутникового сигналу, який може бути зруйнований радіоелектронною боротьбою.



Рис. 8. Су-34 вск рф з підвішеними ФАБ-500М62 з модулями УМПК.
Джерело: [14]

УМПК – це пристрій, який встановлюється на звичайну некеровану авіаційну бомбу, перетворюючи її на високоточну планувальну авіаційну бомбу, формує траєкторію польоту залежно від отриманого польотного завдання з корекцією за сигналами безплатформеної інерціальної системи та сигналів глобальних супутникових систем ГЛОНАСС/GPS, GPS/Beidou [15]. Розвиток керованих авіаційних бомб (КАБ) демонструє чіткий перехід від простих систем лазерного наведення, що вимагали постійної участі

носія до автономних та гібридних боеприпасів із функцією планування. Сучасні зразки прагнуть до трьох ключових показників: мінімальне КІВ, максимальна дальність польоту та стійкість до радіоелектронної боротьби.

У таблиці 2 наведено характеристики найбільш поширених та технологічно значущих систем корекції. Системи корекції КАБ не лише підвищують точність, але й трансформують бойове застосування авіації, надаючи ключові експлуатаційні переваги які наведені у таблиці 3.

Таблиця 2

Характеристики найбільш поширених та технологічно значущих систем корекції

Модель (серія)	Країна-виробник	Основна система наведення	Дальність (Макс.)	КІВ (типове)	Ключові особливості
JDAM (GBU-31/38)	США	GPS + ІНС	25-28 км	(5...13) м	Економічний, всепогодний, модульний комплект для модернізації КАБ
Paveway IV (GBU-48)	США/Велика Британія	GPS/ІНС + Напівактивне Лазерне (SAL)	28 км	(3...5) м; < 1 м	Гібридне наведення; висока точність завдяки кінцевій лазерній корекції
SDB I (GBU-39)	США	GPS + ІНС	~110 км	5...8 м	Плануюча бомба, крило розкладається після скидання; мала маса, висока точність
SPICE-2000	Ізраїль	GPS/ІНС + Електрооптичне/Теплове (EO/IR)	60-100 км	< 3 м	ЕО/ІР-наведення на кінцевій ділянці; здатність розпізнавати цілі (ATR) та порівнювати зображення
AASM Hammer	Франція	GPS/ІНС + ЕО/ІР або Лазер	>50-70 км	< 3 м	Комплект для модернізації; можливість скидання під великим кутом атаки

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3

Переваги використання систем корекції керованих авіаційних бомб

Переваги	Опис та технологічне обґрунтування
Економічна ефективність	Модернізація існуючих некерованих авіаційних бомб за допомогою стандартизованих комплектів корекції (наприклад, GPS/ІНС) є значно дешевшою (у 5...10 разів) за виробництво крилатих або високоточних ракет з аналогічною дальністю та потужністю бойової частини. Це дозволяє формувати більший арсенал високоточної зброї
Висока точність	Забезпечується КІВ (кругове імовірне відхилення) на рівні (3...10) м для GPS/ІНС-систем і менше (1...3) м для систем із лазерним наведенням, що гарантує знищення точкових цілей (бункери, командні пункти, мости, засоби ППО) з мінімальною витратою боеприпасів
Збільшена бойова потужність	КАБ зазвичай зберігають велику масу та потужність бойової частини, характерну для некерованих бомб (наприклад, 250, 500 або 1000 кг), тоді як керовані ракети, оптимізовані для дальності та швидкості, часто мають меншу бойову частину
Модульність та гнучкість	Використання стандартизованих модульних комплектів наведення дозволяє швидко адаптувати різні типи авіабомб до високоточного застосування, а також спростує логістику, обслуговування та інтеграцію на різних типах літаків-носіїв
Автономність застосування	Більшість сучасних КАБ із GPS/ІНС наведенням є автономними після скидання (принцип "вистрілив-забув"). Пілот вводить координати цілі перед скиданням, а система корекції самостійно доводить бомбу до цілі, не вимагаючи подальшої участі носія

Джерело: розроблено авторами

Системи корекції та наведення КАБ класифікуються за принципом роботи сенсорів та способом отримання даних про ціль:

1. Автономні системи корекції. Ці системи не вимагають зовнішнього підсвічування цілі або передачі даних після скидання, що робить їх надійними у складних умовах.

2. Системи із зовнішнім наведенням. Ці системи забезпечують найвищу точність, але часто залежать від зовнішніх умов.

3. Гібридні Системи системи є головною тенденцією розвитку, оскільки вони комбінують найкращі якості різних типів для забезпечення максимальної стійкості та точності:

GPS/ІНС + лазерне наведення використовується GPS/ІНС для основної фази польоту, що дозволяє скидати бомбу з великої дальності, а на кінцевій ділянці активується лазерний цілевказівник для надточної корекції. Це забезпечує точність лазерного наведення, зберігаючи при цьому автономність та дальність GPS/ІНС.

GPS/ІНС + EO/IR поєднання всепогодності та автономності GPS/ІНС з можливістю точного наведення на рухомі об'єкти за допомогою оптичного каналу.

Сучасні системи корекції еволюціонують від монотехнологічних (тільки ІНС або тільки лазер) до гібридних рішень, що є прямим наслідком прагнення військових до надійності, всепогодності та стійкості до засобів протидії.

Сучасна еволюція КАБ визначається необхідністю протидії передовим засобам радіоелектронної боротьби (РЕБ) та інтеграцією автономних можливостей. Основними трендами є перехід до мультисенсорних (гібридних) систем та впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ).

Залежність від єдиного каналу наведення, особливо від GPS, створює критичну вразливість для КАБ, яка може бути використана засобами РЕБ (глушіння або спуфінг). Мультисенсорна інтеграція є стратегічною відповіддю на цей виклик.

Гібридне наведення передбачає одночасне або послідовне використання кількох, фізично відмінних, систем наведення для забезпечення взаємної корекції:

1. ІНС з корекцією за рельєфом від кореляційно-екстремальної навігаційної системи (TERCOM/DSMAC) Використання даних внутрішньої інерціальної системи, що періодично коригується зіставленням зображень поверхні або даних висотоміра (радіолокаційного або барометричного) з попередньо завантаженою цифровою картою місцевості. Це дозволяє продовжувати політ із високою точністю навіть за повного придушення GPS-сигналу.

2. Комбінація GPS/ІНС та електрооптичного (ЕО) каналу: GPS/ІНС забезпечує наведення на маршовій ділянці польоту. На термінальній ділянці активується високочутливий ЕО-цілевказівник, що в свою чергу дає змогу:

адаптивно коригувати траєкторію на основі візуальних даних, мінімізуючи КІВ до 1 метра;

перенацілюватися на інші об'єкти в зоні, що фіксується ЕО-системою, без участі носія.

Головна перевага гібридних систем полягає у стійкості. Навіть якщо один канал (наприклад, GPS) подавляється, інші (ІНС та ЕО/ІР) продовжують функціонувати, забезпечуючи виконання бойового завдання. Алгоритми сенсорного злиття, часто реалізовані через фільтр Калмана або його розширені версії, автоматично надають більшу увагу тому каналу, який у поточних умовах є найбільш достовірним і менш зашумленим.

Штучний інтелект виводить КАБ з категорії "розумних" боєприпасів до категорії автономних систем.

Кінцева мета розвитку КАБ – створення планеруючих боєприпасів (Stand-off Munitions), які здатні наносити ураження цілі на відстань понад 100 км від точки скидання.

Крила та оптимізований аеродинамічний дизайн дозволяють КАБ скидатися поза зоною дії більшості тактичних систем ППО противника, що різко зменшує ризик для літака-носія.

Майбутні КАБ стануть частиною єдиної інформаційно-управляючої мережі. Вони зможуть отримувати оновлення координат цілі під час польоту від розвідувальних БПЛА, наземних підрозділів або супутників, що є вирішальним фактором при ураженні рухомих або пріоритетних цілей, що раптово з'явилися.

Проведений порівняльний аналіз виділяє кілька ключових технологічних переваг:

1. Гібридизація для стійкості (Paveway IV, SPICE-2000). Найбільш значуща перевага полягає в інтеграції двох різних фізичних принципів наведення:

Автономність GPS/ІНС плюс висока точність термінального наведення (лазер або ЕО/ІР).

Системи типу SPICE і AASM Hammer є прямим втіленням концепції "вистрілив-забув" із можливістю протидії РЕБ на кінцевій ділянці. Якщо GPS-сигнал втрачено, ЕО/ІР-цілевказівник продовжує працювати, орієнтуючись на візуальні або теплові ознаки цілі.

2. Розвиток аеродинамічних комплектів (як у Small Diameter Bomb або AASM Hammer) дозволяє значно збільшити дальність польоту. Дальність понад 100 км, що дозволяє літаку-носію залишатися поза зоною ураження більшості зенітно-ракетних

комплексів (ЗРК) середньої дальності противника, що є критичною перевагою для живучості авіації.

3. Баланс точності та всепогодності (JDAM). Системи, що базуються лише на GPS/ІНС (наприклад, JDAM), залишаються найбільш всепогодними та масштабованими завдяки своїй відносній простоті та низькій вартості. Хоча їхнє КІВ (5...13 м) є вищим, ніж у гібридних аналогів, воно є цілком достатнім для ураження великих стаціонарних цілей.

Сучасні системи корекції КАБ чітко розділяються на дві категорії:

1. Масові, економічні комплекти (JDAM), що забезпечують базову точність та всепогодність.

2. Технологічно складні, гібридні та планеруючі системи (SDB, SPICE, Paveway IV), які вирішують проблему протидії РЕБ, ураження рухомих цілей та підвищення живучості літаків-носіїв шляхом збільшення дальності скидання.

Аналіз переваг та поточних тенденцій у сфері (КАБ) дозволяє обґрунтувати три ключові перспективи їхньої подальшої еволюції, які відповідають вимогам сучасного та майбутнього театру воєнних дій:

1. Повна автономізація та навігація в умовах відмови. Перспектива полягає у переході до боєприпасів із розширеним інтелектом, здатних продовжувати виконання завдання в умовах повного придушення GPS-сигналу та комунікацій.

Навігація за образом: впровадження вбудованих баз даних зображень та алгоритмів машинного навчання, які дозволяють бомбі орієнтуватися за візуальними ознаками місцевості або зірками, якщо доступні інші супутникові/радіосигнали недоступні.

Автономне перепланування: використання ІШ для самостійного розрахунку нової траєкторії або вибору вторинної цілі у разі, якщо первинна ціль вже уражена або неідентифікована. Це значно підвищує коефіцієнт використання боєприпасів.

2. Інтеграція в мережецентричні системи (Network-Centric Warfare). КАБ еволюціонують від зброї, що керується лише літаком-носієм, до елементів єдиної розвідувально-ударної мережі.

Корекція в Польоті дозволяє отримати оновлені координати цілі, що швидко рухається, від зовнішнього джерела (інший безпілотний літальний апарат (БпЛА), супутник або наземний коректувальник) вже після скидання. Це критично важливо для ефективного ураження мобільних колон або тимчасових командних пунктів.

Ударна Координація можливість синхронізації часу удару кількох КАБ, запущених з різних носіїв, для одночасного ураження комплексу цілей (наприклад, різних елементів системи ППО).

3. Гіперзвукове планерування. Хоча класичні КАБ є дозвуковими, перспективним напрямком є розробка гіперзвукових планеруючих боєприпасів великої дальності.

Оснащення КАБ додатковими твердопаливними двигунами (прискорювачами) та аеродинамічними поверхнями для досягнення високих надзвукових/гіперзвукових швидкостей після фази планерування забезпечує екстремально малий час підльоту до цілі, що робить перехоплення практично неможливим для більшості існуючих ЗРК.

Висновки

Проведене дослідження демонструє, що модулі планерування та корекції авіаційних бомб стали одним з ключових факторів, які змінили обличчя сучасних воєнних конфліктів. Технології корекції та планерування авіаційних бомб значно підвищують ефективність авіаційних ударів, адаптуючи існуючі боєприпаси до сучасних потреб. Провідні країни світу демонструють різні підходи до вдосконалення цих систем, що відображає їхні стратегічні потреби та технологічні можливості. Україні варто орієнтуватися на інтеграцію передових рішень, таких як JDAM або AASM Hammer з адаптацією до власних оборонних реалій.

На підставі проведеного аналізу переваг, тенденцій та перспектив розвитку систем корекції керованих авіаційних бомб, можна зробити наступні висновки:

1. Основні переваги: ключова цінність КАБ полягає у їхньому оптимальному співвідношенні “вартість-ефективність”. Вони забезпечують точність, порівнянну з дорогими ракетами, при значно нижчих виробничих та логістичних витратах. Це дозволяє насичувати арсенали високоточною зброєю.

2. Домінуюча тенденція: сучасний розвиток систем корекції однозначно спрямований на гібридизацію (мультисенсорну інтеграцію). Поєднання ІНС, GPS, лазерного та оптичного наведення є єдиним надійним способом забезпечити стійкість до зростаючої потужності засобів радіоелектронної боротьби.

3. Стратегічна необхідність ІШ: впровадження штучного інтелекту є неминучим етапом, що перетворює КАБ на автономні ударні платформи, здатні до самостійного розпізнавання, перенацілювання та протидії засобам ППО.

4. Фактор дальності: перехід до планеруючих КАБ є критичним для збереження бойової авіації, оскільки дозволяє проводити пуски поза зоною ураження тактичних ЗРК противника.

Наукова значущість дослідження полягає у систематизації та прогнозуванні технологічного розвитку в умовах гібридної війни, де перевага досягається завдяки точності, а не масі застосованих боєприпасів.

Рекомендації: для забезпечення технологічного паритету необхідно зосередити

інвестиції у дослідження та розробку у сферах сенсорного злиття та алгоритмів ІПІ для наведення на рухомі цілі, а також у розробку власних високошвидкісних, планеруючих комплектів корекції.

Список літератури

1. Advances in Military Technology Vol. 16 No. 2 (2021) Czech Republic 288 с.
2. Про бомби з УМПК у точних цифрах. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://mil.in.ua/uk/blogs/pro-aviabomby-z-umpk-u-tochnyh-tsyfrah>.
3. DEFENSE EXPRESS. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://defence-ua.com/photo/scho_v_seredini_umpk_detalna_rozbirka-338.html
4. Australian magazine. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.australiandefence.com.au/news/news/australian-jdam-ers-sent-to-ukraine>
5. Air Force USA. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104572/joint-direct-attack-munition-gbu-313238/>.
6. Використання JDAM Україною. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://mil.in.ua/uk/news/ukrayina-vzhe-vykorystovuye-jdam/>.
7. AGM-154 Joint Standoff Weapon. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/AGM-154_Joint_Standoff_Weapon.
8. Китайська ракета класу “повітря-поверхня” CM-102 на авіашоу China 2014. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: http://chinesemilitaryreview.blogspot.com/2014/11/chinese-cm-102-air-to-surface-missile.html#google_vignette
9. Высокоточные бомбы SPICE. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://zn.ua/usa/ssha-peredadut-izrailju-vysokotochnye-bomby-spice.html>.
10. Бомби AASM Hammer. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.unian.net/war/bomby-aasm-hammer-ukrainskie-mig-29-i-su-24-adaptirovali-pod-novye-bomby-12558819.html>
11. Armement air-sol modulaire. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/AASM>
12. Туреччина розвинула систем корекції HGK (Hassas Güzüm Kiti) та KGK (Kanatlı Güzüm Kiti). URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://bastion.tv/kompaniya-baykar-mozhe-dopomogti-ukrayini-v-borotbi-z-iranskimi-dronami_n49902.
13. УМПК; Уніфікований модуль планування та корекції. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/UMPK_\(bomb_kit\)](https://en.wikipedia.org/wiki/UMPK_(bomb_kit)).
14. Joint Direct Attack Munition, або JDAM. JDAM. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.fdd.org/analysis/2023/05/30/russias-new-guided-glide-bombs/>.
15. Криштун І.Л., Васьютін А.В., Сеньок Ю.В., та інші. Методичні рекомендації щодо ідентифікації керованих авіаційних бомб приналежності повітряно-космічних сил російської федерації, застосованих проти військових об'єктів та об'єктів інфраструктури України. ДНДІА. Під ред. В.Ф. Залужного. – Київ, 2023. – 61 с.

Надійшла до редколегії 11.11.2025

Схвалена до друку 26.11.2025

Відомості про авторів:

Шабанов Павло Павлович

ад'юнкт
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4297-5534>

Information about the authors:

Pavlo Shabanov

Adjunct
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4297-5534>

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF CORRECTED SYSTEMS FOR CORRECTED AVIATION BOMB, TRENDS AND DEVELOPMENT PERSPECTIVES

P. Shabanov

The article “Advantages of aviation bomb trajectory correction systems development trends and perspectives” delves into the cutting-edge advancements and tactical benefits associated with precision-guided munitions used in modern aerial warfare. The discussion centers around the integration of advanced trajectory correction technologies, such as GPS-assisted inertial navigation systems, and the increasing adoption of laser guidance mechanisms. These systems significantly enhance accuracy, enabling the destruction of both stationary and moving targets with minimal collateral damage.

One of the primary advantages highlighted is the ability of trajectory correction systems to increase the reliability and flexibility of bombing operations. By employing techniques like aerodynamic control surfaces or impulse thrusters, these technologies ensure that bombs remain on their designated path even in the presence of external factors like wind or target movement. This reliability proves critical for achieving mission success while reducing the exposure of aircraft to enemy air defenses.

Furthermore, the article outlines how innovations such as real-time impact point prediction and feedback control algorithms are reshaping combat strategies. The development and miniaturization of components, including MEMS-based sensors, have made it possible to retrofit these precision systems onto existing ordnance, offering a cost-effective solution compared to developing entirely new munitions. Such advancements not only extend the range and effectiveness of conventional bombs but also align with the evolving demands of modern warfare, where precision and adaptability are paramount.

Emphasis is placed on the strategic benefits of these systems, including their ability to minimize collateral damage, optimize resource utilization, and enhance the overall combat capability of the Air Force. The role of innovative approaches in the development of guidance and correction systems is emphasized, in particular the integration of modern data processing algorithms, GPS guidance and inertial systems.

Keywords: aviation bombs, aviation ammunition, universal planning and correction module, high-speed weapons, damage efficiency.