

*М.К. Філяшкін, к.т.н., проф.
(Національний транспортний університет, Україна)*

Навісний комплект наведення керованої вогнегасної бомби

Розглядається система наведення вогнегасної бомби, яка перетворює бомбу в простий та досить дешевий засіб вогнегасіння типу "скинув-і-забув", оптимізований для масового виробництва та застосування. Використання вогнегасної бомби як засіб «першого удару» підвищує ефективність подальшого застосування традиційних зливних систем у 50...70 разів.

В Україні щорічно згоряє від 300 тисяч до 1 млн гектарів лісу при цьому кількість пожеж збільшується у геометричній прогресії. Досвід роботи лісопожежних служб України, США, Канади та низки інших країн засвідчив перспективність використання авіатанкерних технологій, які за певних умов можуть суттєво підвищити ефективність боротьби з лісовими пожежами. Але грандіозні лісові пожежі в Росії, США, Китаї та низці країн Європи, Африки, Австралії переконливо засвідчили, що ефективність скидання з літаків великих мас води на лісову пожежу суттєво знижується через низку чинників:

- до 95-98% рідких вогнегасних засобів (ВЗ) розсіюється в атмосфері, випаровується під час контакту з висхідними потоками диму та язиками полум'я, внаслідок чого до поверхні, охолодження якої вирішує успіх гасіння, долітає лише мала частина води, що зумовлює великі витрати - сотні тонн води і велику кількість дорогих вильотів;

- злив води з літака неможливо здійснити прицільно, тому воду зливають на площу, на якій розташовані локальні вогнища пожежі, і переважно вона потрапляє на неспалювану територію, площа якої може становити до 90% площі зливу;

- практична неможливість своєчасної доставки ВЗ - отже, й неможливість швидкого гасіння більшої частини осередків лісової пожежі.

Щоб авіаційне гасіння лісових пожеж було ефективним необхідно, знижуючи висоту скидання води (при інтенсивних лісових пожарах це вельми проблематично), у 10-100 разів підвищити ефективність доставки води з літального апарата для охолодження обугленої поверхні горіння дерева - енергетичної основи лісової пожежі. А для зниження розпилення води необхідно створити шквал із потужною газовою фазою. Для розв'язання цих задач пропонується технологія гасіння лісових пожеж за допомогою вогнегасних бомб (ВБ).

Бомба створює конусоподібний, імпульсний вихор розпиленого ВЗ з розширюваним, ущільненим, потужним фронтом, який здійснює ефективне, миттєве, суцільне гасіння верхової і низової пожежі на площі до 450 квадратних метрів.

Засоби пожежогасіння у вигляді ВБ розроблялися ще в рамках конверсії оборонного виробництва. Передбачалося, що ВБ надійдуть в авіапалки як навчальні авіабомби, які будуть використовуватися винищувачами-бомбардувальниками, які, відточуючи навички прицільного бомбометання,

братимуть участь у гасінні катастрофічних пожеж.

Фахівцями пожежогасіння розроблені технології килимового гасіння катастрофічних пожарів із застосуванням авіації. При виникненні значних вогнищ загорання передбачалося використовувати три ударні ешелони. Першими мали відпрацювати бомбардувальники, які за допомогою ВБ збивали вогонь та жар пожеж. Слідом за ними танкери на бриючому польоті, заливали б великі площі горіння. І, нарешті, гелікоптери з низького висіння точковими скидами води мали остаточно ліквідувати останні осередки загорянь.

Використання ВБ як засіб «першого удару» підвищує ефективність подальшого застосування традиційних зливних систем у 50...70 разів. Кілька ешелонів технології килимового вогнегасіння за розрахунками, займали б не більше години. А в тій же Каліфорнії на виснажливу боротьбу з вогнем пішли місяці за величезних фінансових витрат. Тому ідея відродження авіаційних засобів пожежогасіння у вигляді керованих ВБ є вельми актуальною.

Для підвищення точності скидання рідких ВЗ пропонується на звичайну ВБ встановлювати дешеву високоточну та компактну супутникову систему GPS-навігації та інерціальний автопілот у вигляді навісного комплекту наведення типу JDAM [2], перетворюючи ВБ у керовану бомбу типу "скинув-і-забув", оптимізовану для масового виробництва та застосування.

Зовнішньо, навісний комплект виглядає як (рис. 1) подовжений хвостовий обтічник, що нагвинчується на тіло авіабомби замість простого інертного хвоста. Усередині обтічника розташовуються інерціальний автопілот, GPS-навігатор, сервоприводи рулів і термальна батарея.

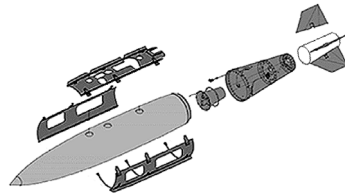


Рис. 1.1

На задньому кінці обтічника встановлено Х-подібне оперення: три з площин рухливі, і грають роль рулів висоти та елеронів, четверта є простим стабілізатором. Управління ВБ здійснюється за допомогою повітряно-динамічних сервоприводів.

Система наведення навісного комплекту складається з трьох основних компонентів: безплатформної інерціальної системи навігації (БІНС) на основі лазерного гіроскопа та кварцових акселерометрів; стандартного GPS-навігатора та керуючого мікропроцесора. Всі ці три компоненти взаємопов'язані в єдину комбіновану систему наведення, в якій супутникова навігація забезпечує високу точність влучення, а інерціальна дає стійкість до перешкод.

Мікропроцесор БІНС, використовуючи алгоритм комплексної обробки інформації, обчислює поточне положення бомби та здійснює керування траєкторією ВБ, яка формується так, щоб її заключна ділянка була близькою до вертикалі. Це суттєво підвищує ефективність застосування та зменшує промах ВБ, оскільки вертикальна координата у супутниковій навігації визначається з найменшою точністю.

У традиційних алгоритмах комплексування, здійснюється оцінювання похибок числення координат БІНС за допомогою інформації від супутникової

навігаційної системи (СНС), або від інших радіотехнічних систем з подальшою корекцією вихідний інформації БІНС. Ця схема, відома досить давно і отримала назву інваріантної схеми комплексування. З використанням цієї схеми вирішується задача оцінювання похибок однієї підсистеми на фоні похибок іншої підсистеми.

При вирішенні задачі комплексної обробки інформації в інерціально-спутникових системах навігації (ІССН) найбільш привабливою є, безумовно, Калмановська фільтрація. Проте, використання фільтра Калмана зустрічає певних труднощів при його практичній реалізації. Зокрема, у БІНС основні джерела погрешностей – дрейфи інерціальних датчиків, унаслідок нестационарності матриці переходу від однієї системи координат, зв'язаної з ЛА, до іншої – навігаційної, будуть нестационарними випадковими процесами навіть при стационарності випадкових процесів, що являють собою дрейфи реальних датчиків. Цей факт створює труднощі бортовій реалізації Калмановської фільтрації [1], зокрема може викликати розбіжність („розвалювання“) обчислювального процесу.

На даний час у сучасних бортових комплексах крім алгоритмів оптимального оцінювання вектора стану, існують способи обробки однорідної інформації, що добре собі зарекомендували на практиці. Зокрема це спосіб взаємної компенсації (ВК). Доцільність використання методу ВК при обробці інформації в ІССН пояснюється тим, що в даному випадку вимір навігаційних параметрів здійснюються вимірниками, що засновані на різних фізичних принципах, і при цьому помилки цих вимірників лежать у різних частотних діапазонах.

Структурна схема реалізації методу ВК представлена на рис.2. Тут $F(p)$ – динамічний фільтр схеми ВК; $X_{\text{БІНС}}$, $X_{\text{СНС}}$ – навігаційні параметри (координати і складові швидкості) одержувані від БІНС і СНС; \hat{X} – оцінка навігаційного параметра; X^i – істинне значення навігаційного параметра; ΔX – похибка БІНС; $\xi_{\text{СНС}}$ – шумова складова

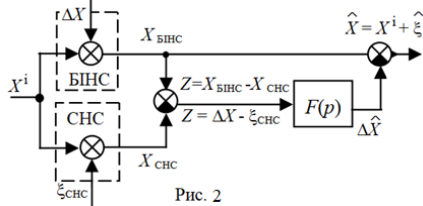


Рис. 2

похибки СНС; $\hat{\xi} = [1 - F(p)]\Delta X + F(p)\xi_{\text{СНС}}$ – похибка комплексної системи; Z – навігаційні параметри спостереження;

Алгоритм комплексної обробки інформації, що використовує метод ВК, має наступний вигляд:

$$\hat{X} = X_{\text{БІНС}} - F(p)Z .$$

Рівняння схеми ВК (рис.1) може бути записане у вигляді:

$$\hat{X} = X^i + \Delta X - F(p)(\Delta X - \xi_{\text{СНС}}) \quad \text{або} \quad \hat{X} = X^i + [1 - F(p)]\Delta X + F(p)\xi_{\text{СНС}} = X^i + \hat{\xi} .$$

Похибка $\hat{\xi}$ буде тим менше, ніж сильніше розбіжність у спектральних характеристиках похибок вимірників ΔX і $\xi_{\text{СНС}}$. Якщо вибрати фільтр $F(p)$ таким, щоб він з мінімальним спотворенням пропускав заваду ΔX і заглушував

заваду $\xi_{\text{СНС}}$, то помилка комплексної системи буде мінімальною. При значній різниці в частотних характеристиках завад на виході фільтра $F(p)$ (див. рис.1) повністю буде відтворюватися завада ΔX , а на виході схеми ВК відтворюється точне значення вимірюваного параметра X^i .

У роботі [1] на основі фільтра Батерворта другого порядку був синтезований динамічний фільтр схеми ВК з досить простою моделлю компенсації інерційності, яка являє собою аперіодичний фільтр з форсуванням

$$W_{\text{КОМП}}(p) = (3T_{\phi}p + 1)/(T_{\phi}p + 1). \quad (1)$$

Порівняльний аналіз схем комплексної обробки інформації, що реалізують метод ВК і алгоритм КФ здійснювалися шляхом математичного моделювання з використанням програми *Simulink*.

Аналіз результатів моделювання свідчить про ідентичність двох схем комплексування, хоча наявність в схемі ВК фільтра Батерворта другого порядку дозволяє здійснювати більш ефективно згладжування шумових складових похибок СНС.

Для покращення якості процедури оцінювання похибок методом ВК пропонується компенсацію інерційності фільтрів Батерворта другого порядку в каналі координат здійснювати складовою з каналу оцінювання похибки швидкості, а в каналі швидкості складовою з каналу оцінювання похибок горизонтального прискорення.

Оцінене значення горизонтальної складової прискорення центра мас одержують шляхом комплексування інформації БІНС і диференційованого сигналу швидкості, що надходить від СНС. При диференціюванні зашумленого радіотехнічного сигналу СНС виконуються звичайні для таких сигналів процедури фільтрації.

На рис. 3 наведена структура динамічного фільтра $F_1(p)$ схеми ВК в каналі координат. Аналогічну структуру має фільтр $F(p)$ в каналі швидкості, а в каналі прискорення залишається фільтр зі схемою компенсації інерційності (1).

Результати моделювання, які ілюструють похибки оцінювання координат ВБ для різних варіантів комплексування на фоні похибок СНС, у збільшеному масштабі наведені на рис. 4, 5.

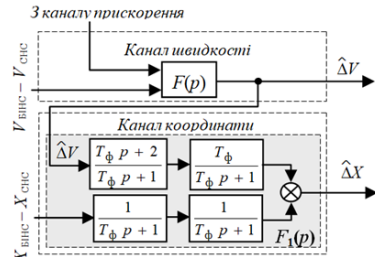


Рис. 3

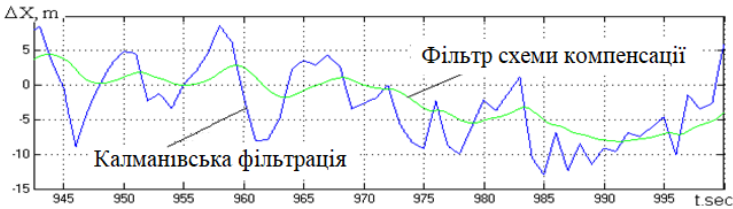


Рис. 4

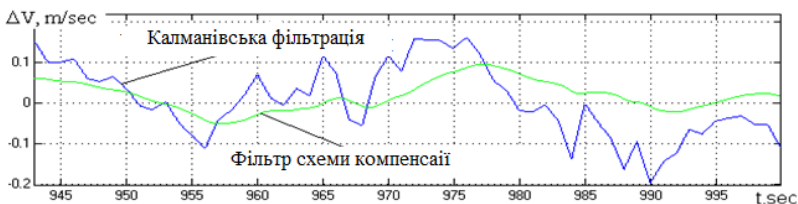


Рис. 5

Порівняльний аналіз результатів моделювання показує, що за точністю оцінювання похибок координати запропонована схема компенсації з динамічним фільтром $F_2(p)$, що будується на основі фільтра Батерворта другого порядку, не поступається схемі оптимальної калманівської фільтрації, проте за якістю фільтрації шумових складових СНС навіть її перевершує.

Отримані внаслідок комплексної обробки інформації значення поточних координат та вектора шляхової швидкості використовуються для корекції БНС.

Підсистема інтеграції інерціальної і супутникової систем оцінює положення й швидкість БПЛА, причому ці дані надходять не тільки споживачам, але й контурам спостереження за затримкою та за фазою приймачів СНС. Застосування схем фільтрації на відміну від фільтра Калмана забезпечує надходження цих даних з високою швидкістю, дозволяючи розбити період часу між вимірами в підсистемі СНС на велику кількість підінтервалів для цілей корекції контурів спостереження. Це потрібно для того, щоб постачати контуру спостереження інформацію навіть тоді, коли вхідний сигнал приймача відсутній або подавлений завадами.

Тому якщо через траєкторні еволюції авіабомби втрачено стеження за обраним для навігації сузір'ям супутників, відновлення інформації здійснюється за час не більше 3 сек. У разі відсутності інформації від GPS-навігатора сигнали наведення авіабомби на ціль формуються тільки на основі обробки інформації від блоку чутливих елементів БНС. Точності БНС цілком достатньо для здійснення наведення за таких збоїв у роботі супутникової навігації.

Висновки:

Вогнегасна бомба це простий та досить дешевий засіб вогнегасіння, який у якості засобу «першого удару» підвищує ефективність подальшого застосування традиційних зливних систем у 50...70 разів.

Застосування навісного комплексу типу JDAM на основі дешевої високоточної та компактної ICCH із запропонованим алгоритмом комплексної обробки інформації створює систему наведення ВБ типу "скинув-і-забув".

Список літератури

1. Філяшкін М.К., Рогожин В.О., Скрипеч А.В., Лукінова Т.І. Інерціально-супутникові навігаційні системи. – К.: НАУ, 2009. – 306 с.
2. Смертоносна та точна. GAM – перша у світі бомба із супутниковим наведенням. URL: <https://focus.ua/voennye-novosti/544404-smertonosnaya-i-tochnaya-gam-pervaya-v-mire-bomba-so-sputnikovym-navedeniem>.