УДК 629.734.7

ЗАХАРІН Ф.М., *провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*
САМОЙЛЕНКО О.В., *провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*
КАРНАУХ Т.І., *науковий співробітник*

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ УНІФІКАЦІЇ ІНТЕГРОВАНИХ ІНЕРЦІАЛЬНО-СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АВІАЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ

Пропонується методика уніфікації інтегрованих інерціально-супутникових навігаційних систем для широкого кола об'єктів військової авіації.

Ключові слова: *інерціальна навігаційна система, інерціально-супутникова навігаційна система, уніфікація інтегрованих навігаційних систем, генерація варіантів інтегрованих інерціально-супутникових навігаційних систем, гіроскоп, акселерометр.*

До складу навігаційних засобів військових авіаційних об'єктів, як правило, входять інерціальні навігаційні системи (ІНС). Інерціальні навігаційні системи, як найбільш інформативні, дозволяють одержувати всю сукупність необхідних параметрів для керування об'єктом, включаючи кутову орієнтацію. При цьому такі системи завадозахищені та цілком автономні, тобто для їх нормального функціонування не потрібно використання будь-якої інформації від інших систем. Ще одним достоїнством цих систем є висока швидкість надання інформації зовнішнім споживачам: швидкість відновлення кутів орієнтації складає до 100 Гц, навігаційної інформації – від 10 до 100 Гц. Найбільш перспективною ІНС є безплатформна інерціальна навігаційна система (БІНС), побудована на датчиках кутових швидкостей та акселерометрах.

Точностні характеристики інерціальних датчиків різних типів (вимірювачів кутової швидкості та акселерометрів) на теперішній час (верхні малюнки) і у середньостроковій перспективі (нижні малюнки) представлено на рис. 1. Показники вартості цих датчиків відображено на рис. 2 [5]. Слід зауважити, що стандартна за вимогами ICAO точність ІНС літаків (1,85 км за годину польоту) забезпечується інерціальними датчиками з наступним рівнем точності – помилки гіроскопів – не більше 0,01 град/год, помилки акселерометрів – не більше 10 mg.

Принциповими недоліками ІНС є те, що необхідно задавати початкові умови по швидкості, координатам та параметрам орієнтації, а також те, що похибки визначення координат збільшуються з часом. Тому до складу бортового навігаційного комплексу, крім БІНС, включають додаткові навігаційні засоби неінерціального типу (коректори). До найбільш перспективних коректорів слід віднести супутникові навігаційні системи (СНС) [1].

В даний час повномасштабно функціонують тільки дві глобальні супутникові навігаційні системи: російська ГЛОНАСС (Глобальна навігаційна супутникова система) і американська NAVSTAR (Navigation system with timing and ranging) або

© Захарін Ф.М., Самойленко О.В., Карнаух Т.І., 2012

GPS. Практично готова до розгортання новітня загальноєвропейська супутникова навігаційна система GALILEO [2, 3].

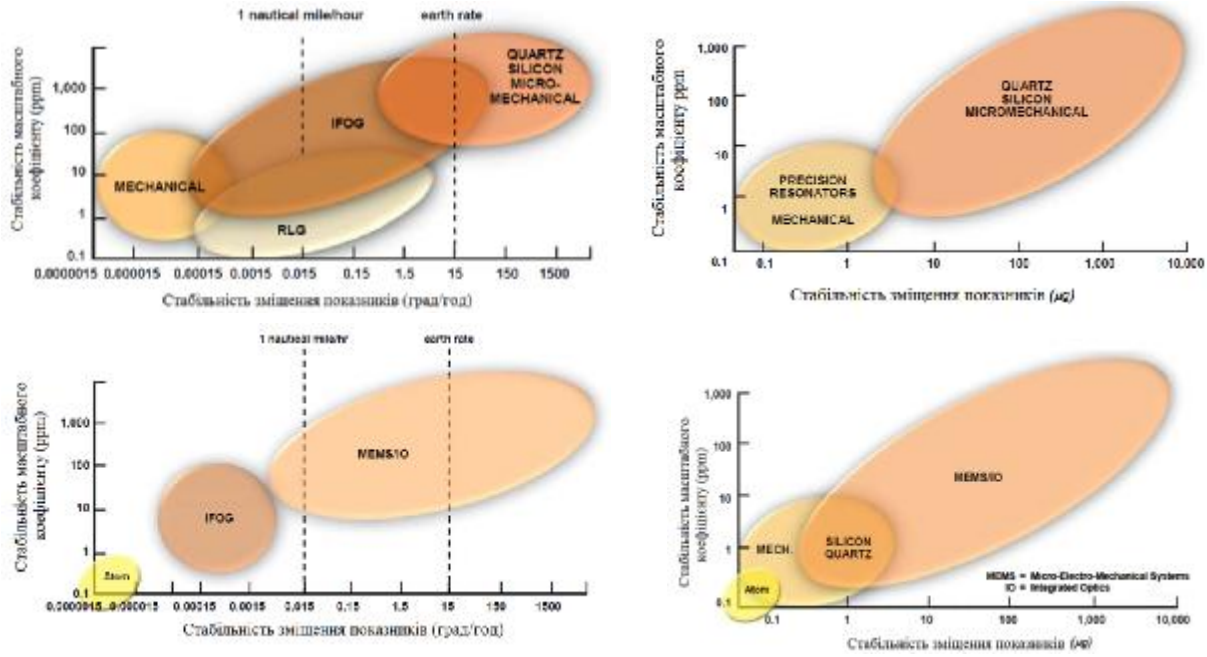

Рис.1. Точностні характеристики інерціальних датчиків

На рис. 1 використовуються наступні позначення:
MECHANICAL –механічний акселерометр;
RLG – кільцевий лазерний гіроскоп (КЛГ);
IFOG – інтерферометричний волоконно-оптичний гіроскоп (ВОГ);
QUARTZ – кварцовий акселерометр;
SILICON – кремнієві гіроскопи;
MICROMECHANICAL – мікро-механічний гіроскоп з ротором, що обертається;
ATOM – атомний;
MEMS – мікроелектромеханічні датчики (кремнієві);
IO – інтегральний оптичний;
PRECISION – прецезійний акселерометр;
RESONATORS – резонансний акселерометр;
MECH – механічний.

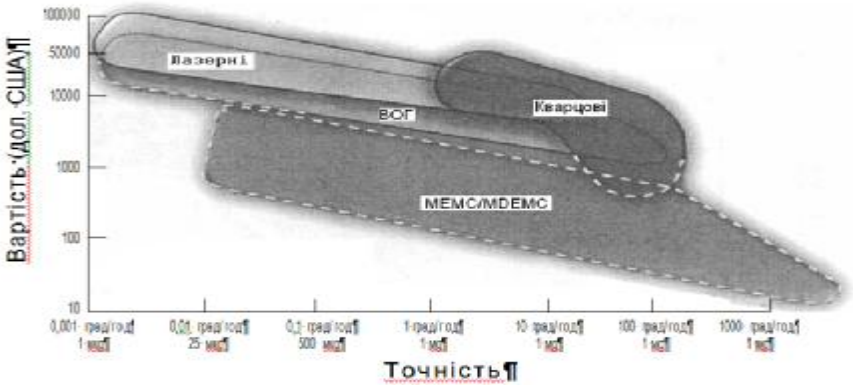

Рис.2. Залежність вартості безплатформної інерціальної навігаційної системи від типу інерціальних датчиків і їхньої точності

Основна перевага використання СНС – висока точність визначення координат місцезнаходження рухомих об’єктів. До недоліків можна віднести низьку завадозахищеність та відсутність інформації про кутову орієнтацію.

Інтеграція ІНС та СНС дає можливість підвищити точність за координатами та швидкістю, а також збільшити надійність та завадозахищеність [4].

В умовах обмеженого фінансування при модернізації різнотипних ЛА гостро стає питання уніфікації інерціально-супутникових навігаційних систем (ІСНС) для суттєвого скорочення витрат на оснащення авіаційних об’єктів даними системами.

Пропонуєму методику визначення уніфікованого ряду ІСНС для військової авіації України наведено на рис.3 [6].

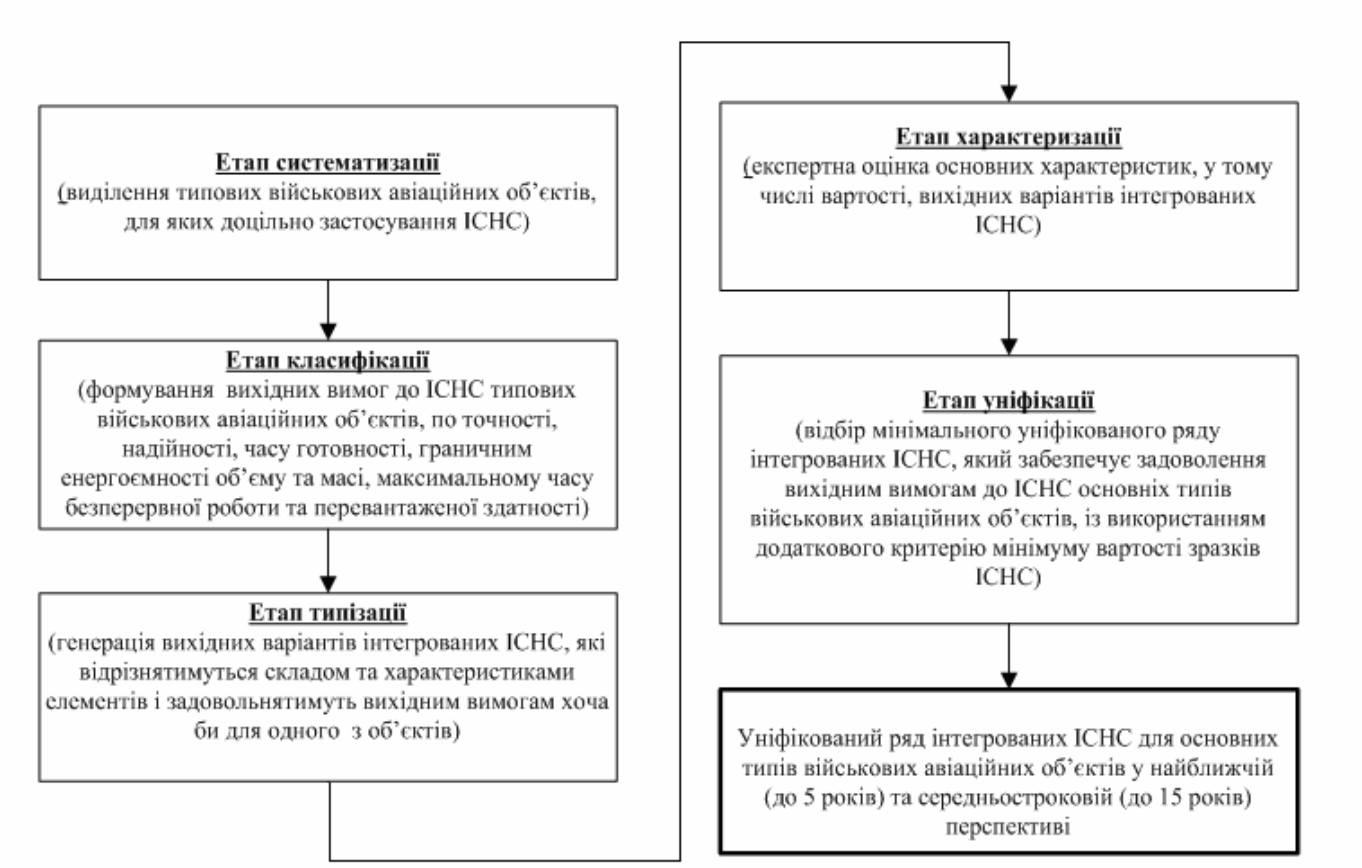

Рис. 3. Блок-схема методики побудови уніфікованого ряду інтегрованих ІСНС для основних типів військових авіаційних об’єктів

Запропонована методика застосовується для двух варіантів перспективи впровадження ІСНС на об’єкти військової авіації України:

близька перспектива (до 5 років);

середньо-строкова перспектива (до 15 років).

На етапі систематизації було вибрано перспективні військові авіаційні об’єкти, на які в найближчий час доцільно встановлювати ІСНС. До них віднесено: літаки (тактичні, розвідувальні та військово-транспортні), вертольоти (бойові та транспортно-десантні), безпілотні літальні апарати (оперативні, оперативно-тактичні, тактичні та поля бою), авіаційні засоби ураження “повітря-поверхня” (керовані ракети та керовані авіаційні бомби).

На етапі класифікації експертним шляхом на основі аналізу оперативно-тактичних вимог до модернізуємих ЛА ЗС України, діючих стандартів НАТО, вимог та рекомендацій ІКАО і корпорації ARING були сформовані основні вимоги до ІСНС перспективних авіаційних об'єктів. Окрім характеристик точності та часу готовності були враховані середній час безвідмовної роботи, енергоємність, об’єм, маса, первантаження та тривалість функціонування.

На етапі типізації була здійснена генерація варіантів ІСНС (що відрізнятимуться інерціальними датчиками первічної інформації, приймачами СНС і схемами інтеграції), які задовольняють вимогам хоча би для одного із об’єктів, що вибрані на етапі систематизації.

При генерації варіантів інтегрованих інерціально-супутникових навігаційних систем для авіаційних об’єктів розглянуті такі варіанти гіроскопів та акселерометрів:

лазерні гіроскопи на рівні досягнутих високоточних варіантів (0,01 град/год) та точні маятникові компенсаційні акселерометри (10 μg);

середньої точності лазерні гіроскопи (0,1 град/год) та маятникові компенсаційні акселерометри (100 μg) ;

точні динамічно-настроювані гіроскопи (0,01 град/год) та маятникові компенсаційні акселерометри (10 μg);

середньої точності динамічно-настроювані гіроскопи (0,1 град/год) та маятникові компенсаційні акселерометри (100 μg);

точні твердотільно-хвильові гіроскопи (0,01 град/год) та маятникові компенсаційні акселерометри (10 μg);

середньої точності твердотільно-хвильові гіроскопи (0,1 град/год) та маятникові компенсаційні акселерометри (100 μg);

точні волоконно-оптичні гіроскопи (0,01 град/год) та маятникові компенсаційні акселерометри (10 μg);

середньої точності волоконно-оптичні гіроскопи (0,1 град/год) та маятникові компенсаційні акселерометри (100 μg);

середньої точності мікромеханічні датчики (0,1 град/год, 100 μg);

грубі мікромеханічні датчики (1 град/год, 1 μg).

До складу інтегрованої безплатформної інерціально-супутникової системи запропоновано включити сучасний багатоканальний приймач супутникової системи навігації ГЛОНАСС/GPS/ГАЛИЛЕО, що має можливість працювати в режимі диференційних навігаційних вимірювань.

В теперішній час відомі схеми можливого комплексування СНС і ІНС у чотирьох основних варіантах [1]:

роздільна схема;

слабко зв'язана схема;

жорстко зв'язана схема;

глибоко інтегрована схема.

Аналіз показує, що рівень потенційної завадозахищеності інтегрованих ІСНС суттєво підвищується з збільшенням глибини інтеграції, що відображено на рис. 4,

де надані графіки, що характеризують відношення «завада/сигнал» для різних потужностей передавача завад як функції дальності до нього, а також порогові відношення «завада/сигнал», при перевищенні яких приймач СНС є непрацездатним. Ефективними напрямками підвищення завадостійкості є також збільшення потужності супутникових радіонавігаційних сигналів та впровадження багатоелементних адаптивних приймальних антен, які забезпечують ідентифікацію джерел завад та деформацію діаграм спрямованості антен (нуль – спрямовані антени) [2].

Всі десять типів блоків інерціальних датчиків первинної інформації пропонується інтегрувати з багатоканальним приймачем СНС за допомогою найбільш перспективного варіанта схеми інтеграції (глибокоінтегрованої схеми). Таким чином, згенеровано десять варіантів побудови інтегрованої безплатформної інерціально-супутникової навігаційної системи.

На етапі характеризації здійснювалась експертна оцінка основних характеристик, у тому числі вартості, вихідних варіантів інтегрованих ІСНС.

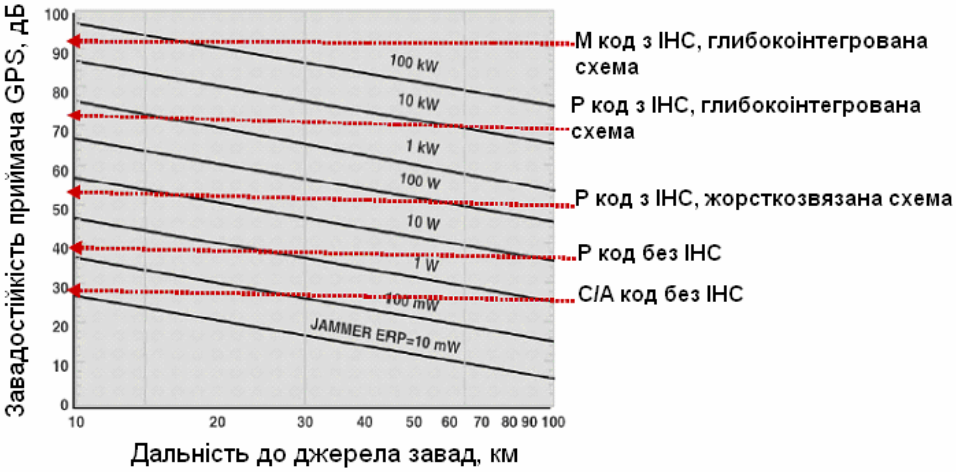

Рис.4. Потенційна завадостійкість ІСНС до одиночного джерела широкосмугових радіозавад

На етапі суто уніфікації здійснювався відбір мінімального уніфікованого ряду ІСНС. Для виключення надлишковості вихідних варіантів і обґрунтування мінімального уніфікованого ряду систем на даному етапі використовувався критерій вартості зразків ІСНС.

Проведений аналіз показав, що у найближчій перспективі:

для об’єктів, де вимагається високоточне навігаційне забезпечення для тривалих інтервалів функціонування, рекомендується варіант інтегрованої ІСНС на “точних” лазерних гіроскопах і маятникових компенсаційних акселерометрах, вартість якої складе ~ 100 тис.$;

для об’єктів, де достатньо середньої точності навігаційного забезпечення, рекомендується варіант інтегрованої ІСНС на “середньоточних” волоконно-оптичних гіроскопах і маятникових компенсаційних акселерометрах, вартість якої оцінюється в 30 тис.$;

для об’єктів, короткочасової дії пропонується варіант інтегрованої ІСНС на “грубих” мікромеханічних датчиках, вартість якої оцінюється в 1.5 тис.$.

Для середньострокової перспективи:

для об’єктів, де вимагається високоточне навігаційне забезпечення для тривалих інтервалів функціонування, рекомендується варіант інтегрованої ІСНС на “точних” волоконно-оптичних гіроскопах і маятникових компенсаційних акселерометрах, вартість якої буде 25 тис.$;

для об’єктів, де достатньо середньої точності навігаційного забезпечення, а також об’єктів короткочасової дії, рекомендується варіант інтегрованої ІСНС на „середньоточних” мікромеханічних датчиках, вартість якої оцінюється в 2 тис. $.

Таким чином, за допомогою запропонованої методики вдалося сформувати уніфіковані ряди ІСНС для військових авіаційних об’єктів на найближчу та середньострокову перспективу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Захарін Ф.М., Синєглазов В.М., Філяшкін М.К. Алгоритмічне забезпечення інерціально-супутникових систем навігації. Київ. «НАУ-друк», 2011.
2. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения. М. ЭКО-ТРЕНДЗ, 2003.
3. Бабак В.П., Конін В.В., Харченко В.П. Супутникова радіонавігація. Київ, «Техніка», 2004.
4. Интегрованные инерциально-спутниковые системы навигации. Под ред.В.Г. Пешехонова. Санкт-Петербург, 2004.
5. Бабур Н., Шмидт Дж. Направления развития инерциальных датчиков. Гироскопия и навигация, № 1 (28), ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, 2000.
6. Захарін Ф.М., Самойленко О.В. Методичні аспекти уніфікації інтегрованих інерціально-супутникових навігаційних систем для авіаційних об’єктів. Збірник доповідей науково-практичної конференції «Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки», Київ, ДНДІА, 2012.

Надійшла до редакції 19.10.2012