

УДК 621.391.266, 517.972.8

І.О. Кашаєв, Р.В. Пугачов, С.І. Смик

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## ОЦІНКА ДОСЯЖНОГО РІВНЯ ТОЧІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНЕРЦІАЛЬНО-СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ АВІАЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Розглянуто стан та перспективи розвитку датчиків інерціально-супутникових навігаційних систем авіаційного призначення для використання у вітчизняній інерціальної, інтегрованої із супутниковою, навігаційної системи. Проведений аналіз досяжного рівня характеристик складових частин інтегрованої системи.*

**Ключові слова:** навігаційне забезпечення, прицільно-навігаційний комплекс, інерціально-супутникова навігаційна система.

### Вступ

**Актуальність.** Проблема побудови оптимальної системи високоточного навігаційного забезпечення рухомих об'єктів ЗС України в даний час знаходиться у стадії рішення. Раціональним шляхом вирішення питання навігаційного забезпечення Збройних Сил України є створення вітчизняної інерціальної, інтегрованої із супутниковою, навігаційної системи.

Аналіз типових навігаційних завдань, що виникають на різних етапах бойового польоту літального апарату (ЛА) [1], показує, що для більшості етапів (таких, наприклад, як політ за заданим маршрутом до об'єктів удару, подолання ППО супротивника, вихід на об'єкти дій, застосування засобів поразки і ін.) необхідна точність визначення абсолютних координат ЛА складає одиниці метрів, а необхідну точність визначення швидкості польоту складають величини від декількох десятків до одиниць сантиметрів в секунду.

Апаратна інтеграція інерціальної навігаційної системи (ІНС), бортового комплексу озброєння (БКО) і супутникової системи навігації (СНС) дозволяє підвищити точнісні характеристики пілотажно-навігаційного комплексу (ПНК), використовувати об'єднані обчислювальні засоби, систему вторинного електроживлення, зовнішні інтерфейсні пристрої, опорний генератор, що знижує вартість і масогабаритні характеристики системи не менше ніж на 30%.

**Метою статті** є аналіз та оцінка досяжного рівня точнісних характеристик датчиків первинної навігаційної інформації ІНС, які є складовою частиною комплексних навігаційних систем, що працюють на різних принципах. Це дозволить визначити шляхи підвищення ефективності застосування ЛА за рахунок введення в склад навігаційного комплексу СНС та оцінити ефективність таких авіаційних комплексів.

**Аналіз публікацій і досліджень.** Дослідженню рішення задачі підвищення точності навігаційного забезпечення польотів авіації і літакових

навігаційних комплексів приділяється постійна увага [1 – 4].

Отримання, обробку і представлення льотчикові навігаційної інформації, а також формування і видачу в систему автоматичного управління польотом (САУ) ЛА необхідних даних про розузгодження поточних і необхідних параметрів польоту здійснює ПНК.

Високоточні авіаційні ПНК повинні забезпечувати [2]: автоматичне літаководіння (рух) за маршрутом, зліт і категоризовану посадку (а в деяких випадках і руління по аеродрому); високу точність, надійність і безпеку літаководіння; швидке виявлення відмов і контроль цілісності навігаційного устаткування; зручність технічного обслуговування; потрібну ефективність БКО.

До складу високоточних ПНК включають прецизійні безплатформенні ІНС (БІНС) на кільцевих лазерних гіроскопах (КЛГ), багатоканальний приймач СНС, що має можливість прийому диференціальних поправок, систему повітряних сигналів (СПС), радіовисотомір (РВ), приймачі радіосистем дальньої (РСДН) і ближньої навігації (РСБН, DME, VOR), апаратуру систем посадки (ІЛС – інструментальна система посадки, MLS – мікрохвильова система посадки).

Аналіз показує, що сучасним вимогам до точності навігаційних визначень на всіх етапах польоту відповідає тільки корекція ІНС на основі СНС-технологій. Використання ГЛОНАСС/GPS-технологій для корекції ІНС забезпечує якісно новий рівень використання УАСП, а саме:

- використання ГЛОНАСС/GPS-технологій кардинально перетворить принципи ударно-огневої дії, перш за все в оперативній і оперативно-тактичній глибині, робить його незалежним від дальності, часу доби, погодних і кліматичних умов, прив'язки до регіону;

- ГЛОНАСС/GPS-технологія може бути використана для вирішення завдань управління більшістю типів засобів поразки комплексу авіаційного озброєння;

• оснащення ГЛОНАСС/GPS-приймачами ударних літаків і зброї класу «повітря-земля» створює умови для розвантаження екіпажа в ході атак наземних цілей, які проводяться, в основному, в режимі автоматичного високоточного навігаційного бойового застосування, знижує вимоги до напівавтоматичних і автоматичних систем управління на кінцевій ділянці польоту зброї, призначеної для

прямого попадання в ціль, завдяки точному виходу на неї за інформацією приймача.

### Результати досліджень

Функції сучасного ПНК можна представити в узагальненому вигляді (табл. 1).

Схема взаємозв'язку екіпажа і основних підсистем ПНК приведена на рис. 1.

Таблиця 1

Основні функції ПНК

Навігація і планування польоту	Пілотування	Попередження критичних режимів і контроль
Визначення координат МП; програмування маршруту польоту; оперативна зміна програми польоту; оптимізація режимів і траєкторій польоту; визначення і індикація параметрів руху; забезпечення нормування вертикального, подовжнього і бічного ешелонування; корекція коефіцієнтів руху	Автоматичний програмний пристрій; автоматичне програмне управління; стабілізація висотно-швидкісних параметрів; кутова стабілізація; суміщене управління; автоматична посадка; зліт в директорному режимі оптимальне регулювання	Оцінка зсуву вітру; контроль параметрів при розгоні; попередження про небезпечне зближення із Землею; оптимізація граничних відхилень параметрів ешелонування; обмеження виходу на небезпечні режими при автоматичному управлінні; автоматичний контроль справності підсистем ПНК

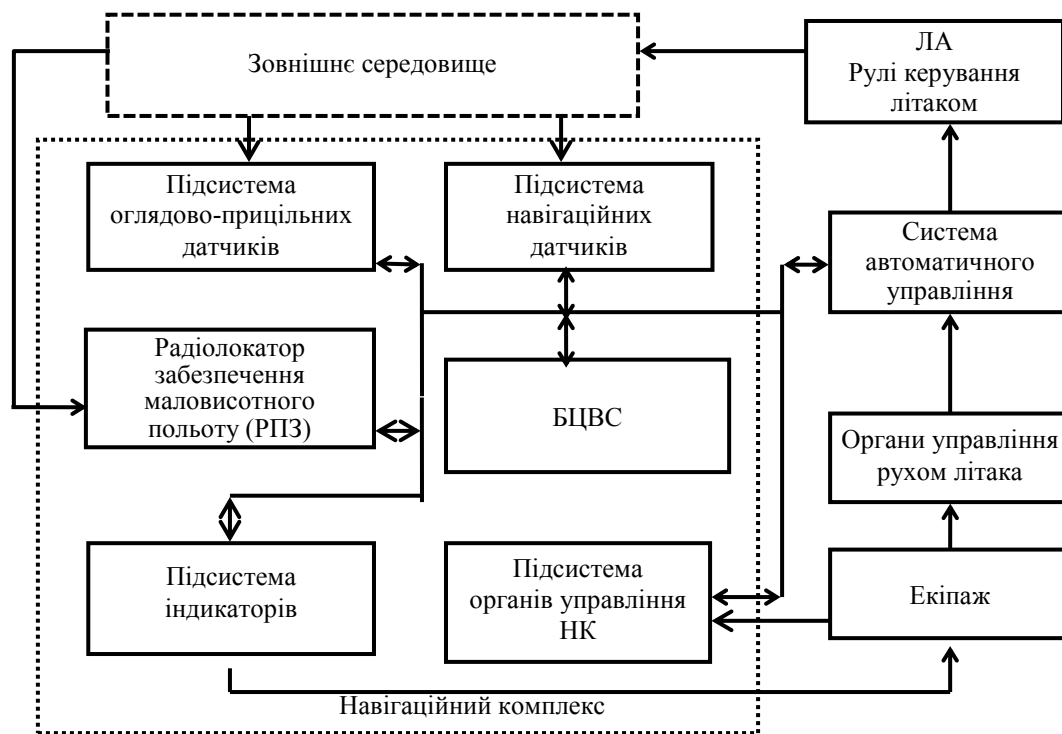


Рис. 1. Схема взаємозв'язку екіпажа і основних підсистем

Підсистема навігаційних датчиків, як правило, включає: систему повітряних сигналів (СПС); малогабаритну інерціальну систему (МІС); систему курсовертикалі (СКВ); датчик кутів аеродинамічних (ДУА); датчик вимірювання швидкості і кута зносу (ДКШЗ); радіовисотомір (РВ); радіотехнічну систему ближньої навігації (РСБН).

За принципами побудови інтегровані системи можливо поділити на роздільні, слабо пов'язані,

жорстко пов'язані, глибоко інтегровані.

Типова функціональна схема інтегрованої навігаційної системи наведена на рис. 2.

Інтегрована навігаційна система ІНС/СНС дозволяє об'єднати переваги і компенсувати недоліки, властиві кожній з систем окремо. У інтегрованих системах з'являється можливість використовувати порівняно недорогі ІНС, побудовані на мікроелектромеханічних та наномеханічних чутливих елемен-

тах. Перевагою таких ІНС є мала вага і компактні розміри, але автономне використання їх ускладнено внаслідок нестабільності характеристик мікроелект-

ромеханічних гіроскопів і акселерометрів, що веде до швидкого накопичення помилки у визначенні навігаційних даних.

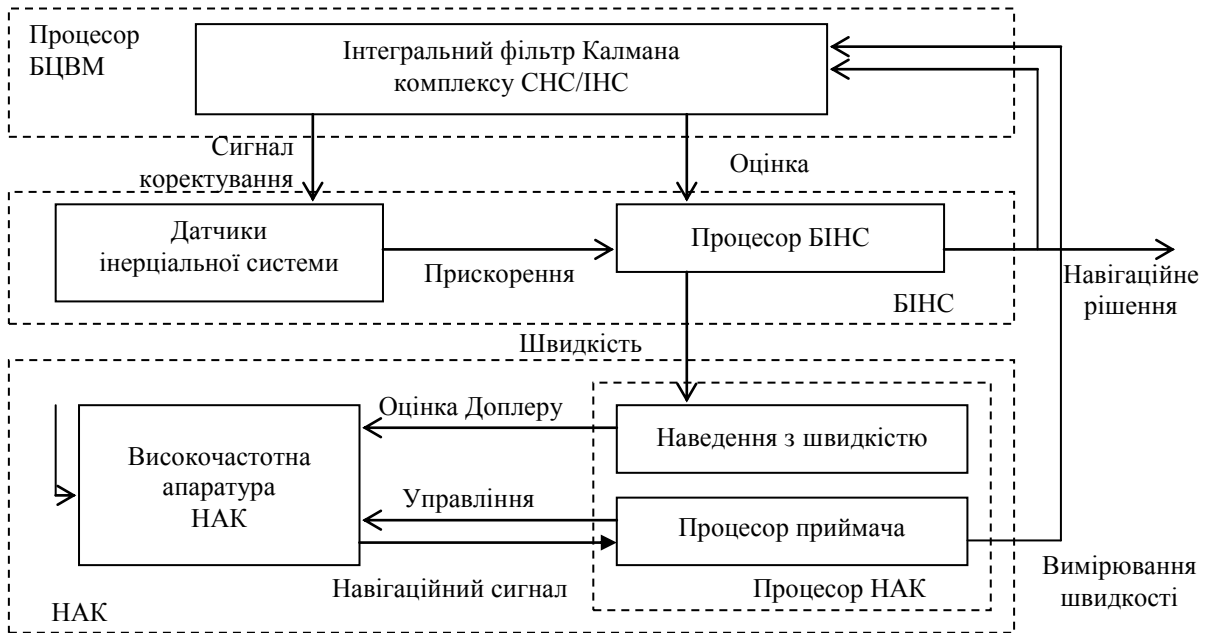


Рис. 2. Типова функціональна схема інтегрованої навігаційної системи

На рис. 3 приведені узагальнені дані залежності масштабного коефіцієнта від границі чутливості акселерометрів, виконаних по різних технологіях і для різних сфер застосування їх в ІНС для військової техніки на даний час у світі.

На рис. 4 приведені узагальнені дані залежності масштабного коефіцієнта від нестабільності гіроскопів, виконаних по різних технологіях і для різних

сфер застосування їх в ІНС для військової техніки на даний час у світі. На рис. 5 наведено вартість проектування ІНС в залежності від технології датчиків ІНС та вимог до неї. Досяжний рівень точнісних характеристик комплексованих систем іноземного виробництва наведено у табл. 2.

В табл. 3 наведено останні світові тенденції зміни парку ІНС при використанні в військовій сфері.

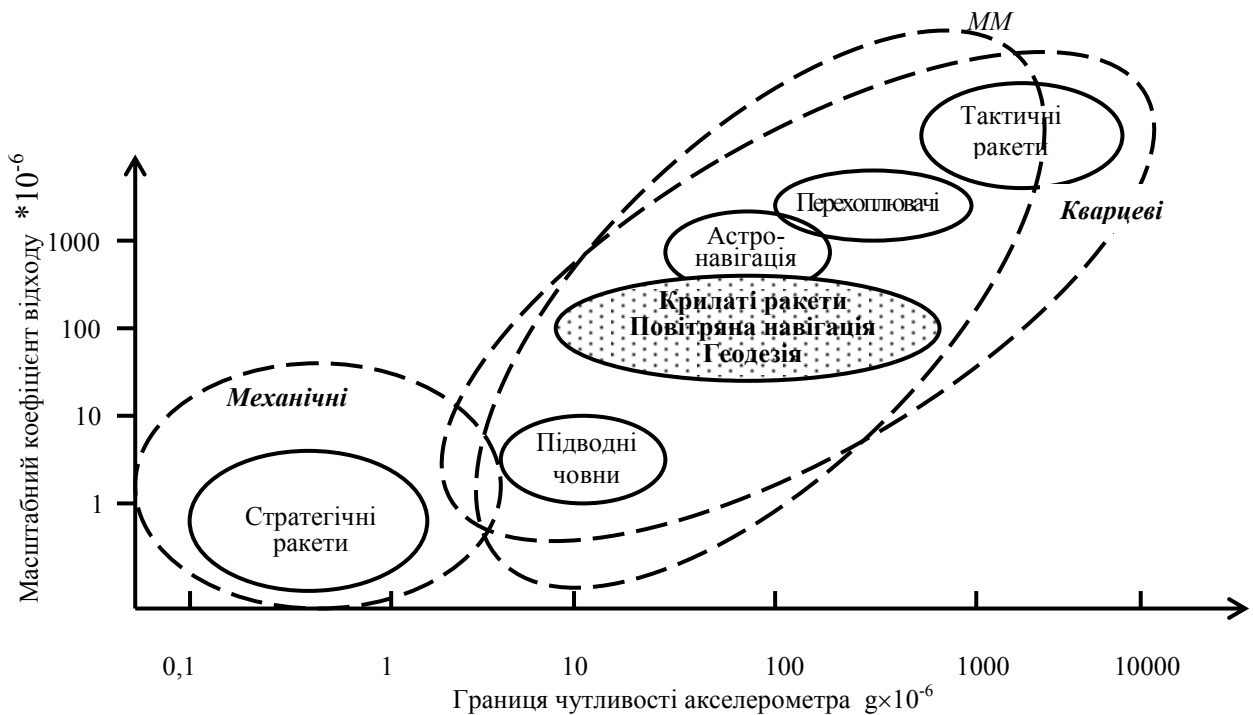


Рис. 3. Існуючі технології акселерометрів та області їх використання у військовій техніці

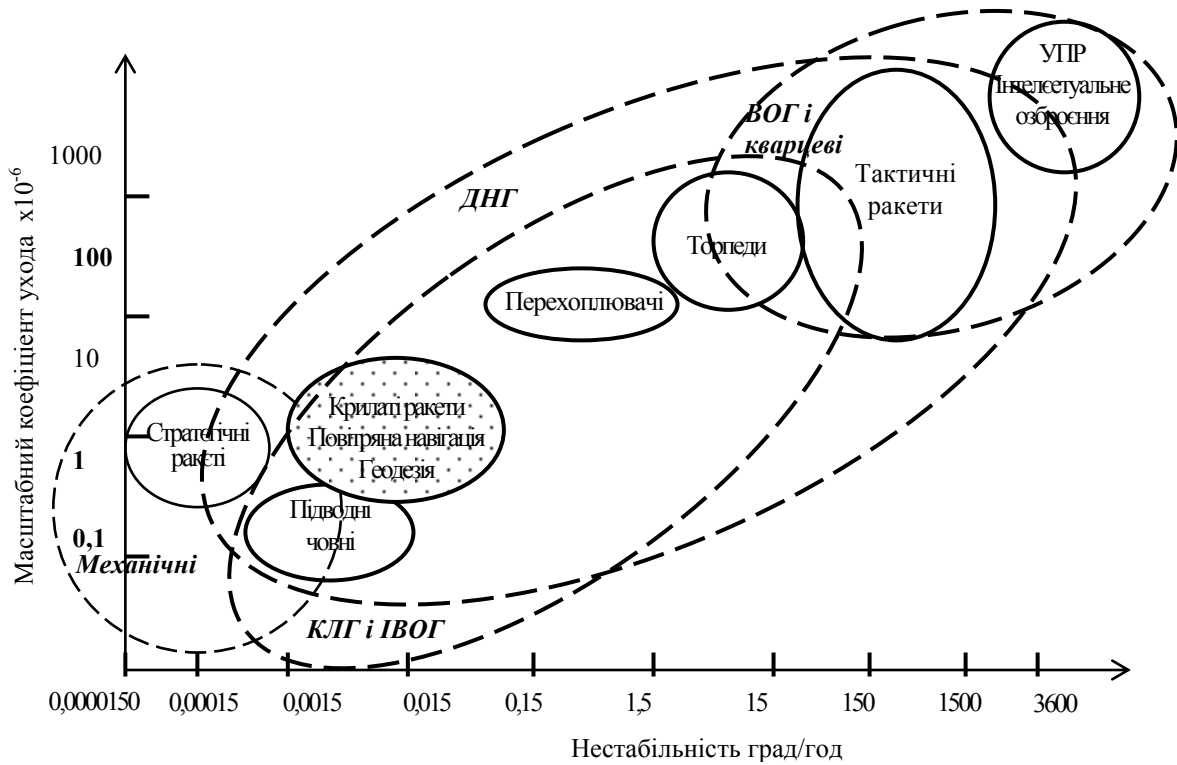


Рис. 4. Сучасні технології гіроскопів та області їх використання в військової техніці

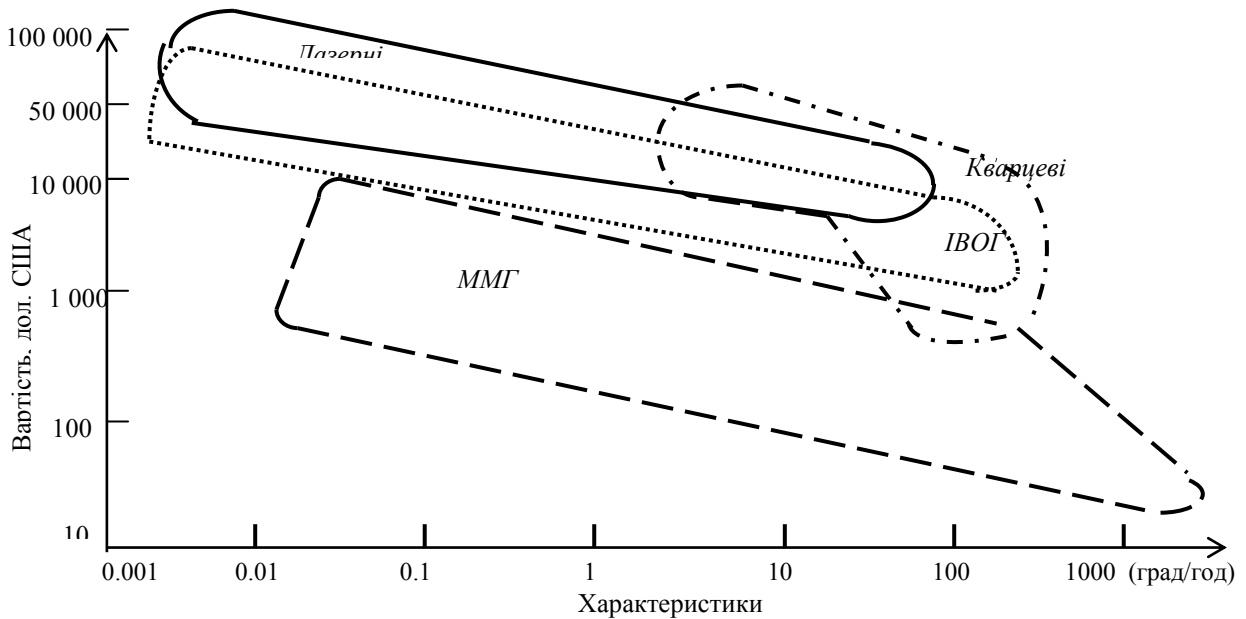


Рис. 5. Вартість проектування ІНС в залежності від технології датчиків ІНС та вимог до неї

Таблиця 2

Досяжний рівень точнісних характеристик комплексованих систем

Система	Точність (град. 1 sigma)			Позиціонування в реальному часі	Головний датчик
	Крен	Тангаж	Рискання		
POS RS	0,0080	0,0025	0,0025	–	GPS
POS MV 320 RTK	0,0200	0,0100	0,0100	+	IMU
POS MV Elite	0,0250	0,0050	0,0050	+	GPS
POS MV Wavemaster	0,0300	0,0300	0,0300	+	GPS
Novatel HG1700 SPAN 58	0,0310	0,0130	0,0130	+	GPS
LN200 SPAN	0,0250	0,0100	0,0100	+	GPS

Тенденції зміну парку ІНС та їх вартість

	Гіроскоп з карданним підвісом	БПГ	КЛГ	Міні КЛГ	ВОГ	ММГ	НМГ
Військово-морські Сили							
Повітряні Сили							
Сухопутні війська							
ДПЛА							
Інтелектуальна зброя							
Наземні рухомі засоби							
Особовий склад							
Вартість, тис. дол.	200-300	150	125	40-85	15-20	≤ 5	≤ 1

Наприклад, у повітряних силах, військово-морських силах та сухопутних військах в ІНС первинно використовувався гіроскоп з карданним підвісом. З розвитком технологій вони були замінені на безплатформені гіроскопи, які мали кращі характеристики точності, були простішими в експлуатації та мали нижчу вартість. Далі на зміну безплатформеним гіроскопам прийшли кільцеві лазерні гіроскопи, в сухопутних військах знайшли широке застосування волоконно-оптичні гіроскопи, а для наземних рухомих об'єктів, дистанційно керованих БЛА та інтелектуальної зброї – недорогі мікромеханічні та наномеханічні гіроскопи.

### Висновки і подальші напрями досліджень

Сучасні інтегровані навігаційні системи здатні задовольнити вимоги по точності та надійності навігаційних визначень усіх видів споживачів, зокрема для авіаційних споживачів досяжний рівень точності складає на рівні одиниць метрів по координатах та десятків сантиметрів за секунду по швидкості. Аналіз тенденцій зміну парку ІНС та їх вартості показує, що найбільш перспективним є застосування ММГ і НМГ. Означені зміни стають можливими завдяки прогресу у галузі технологій високоточного виробництва та мініатюризації.

При побудові інтегрованої ІНС/СНС системи можливо використовувати комплектуючі елементи як національного, так і закордонного виробництва. Для вирішення завдань національної безпеки доцільно

використовувати національні елементи, але дуже важливим, при цьому, є їх якість або відповідність технічних характеристик заявленим тактико-технічним вимогам та економічна доцільність (рис. 3 – 5).

Для більш конкретної оцінки досяжного рівня точнісних характеристик інтегрованої інерціально-спутникової системи необхідно задати умови застосування у залежності від виду споживача навігаційної інформації, перелік навігаційних параметрів, що підлягають визначенню (координати, проекції вектору швидкості, кутова орієнтація, часові параметри тощо), тип інерціальних навігаційних приладів (у залежності від технологій виготовлення).

### Список літератури

1. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии / Под ред. Б.С. Алёшина, К.К. Веремеенко, А.И. Черноморского. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 424 с.
2. Проектирование пилотажно-навигационных систем повышенной надежности. – М.: МАИ, 1999. – 84 с.
3. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М.Н. Красильщикова и Г.Г. Себрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 280 с.
4. Бортовые информационно-управляющие средства оснащения летательных аппаратов / Р.В. Мубаракшин, Н.В. Ким, М.Н. Красильщиков, Ю.А. Саблин, И.П. Шинириев. – М.: МАИ, 2003. – 380 с.

Надійшла до редколегії 2.10.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, ДП "ЦНДІ навігації і управління", Київ.

### ОЦЕНКА ДОСТИЖИМОГО УРОВНЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНЕРЦИАЛЬНО-СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И.А. Кашаев, Р.В. Пугачев, С.И. Смык

Рассмотрено состояние и перспективы развития датчиков инерциально-спутниковых навигационных систем авиационного назначения для использования в отечественной инерциальной, интегрированной со спутниковой, навигационной системе. Проведен анализ достижимого уровня характеристик составных частей интегрированной системы.

**Ключевые слова:** навигационное обеспечение, инерциально-спутниковая навигационная система.

### ESTIMATION OF ATTAINABLE LEVEL OF INERTIAL-SATELLITE AVIATION ASSIGNMENT NAVIGATION SYSTEMS PRECISION CHARACTERISTICS

I.A. Kashaev, R.V. Pugachev, S.I. Smyk

It is considered the condition and development perspectives of inertial-satellite aviation assignment navigation systems transmitters for using in domestic inertial integrated with satellite navigation system. It was conducted the analysis of achievable level characteristics of constituent parts of integrated system.

**Keywords** navigation support, aiming-navigation complex, inertial-satellite navigation system.