

Пономаренко С.О., к.т.н., в.о. зав. каф. СКЛА;  
 Ізмаїраєв Я.М., студент;  
 КПІ ім. Ігоря Сікорського, каф. СКЛА, НН ІАТ

## ОБРИС БЕЗПЛАТФОРМНОЇ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ СУБОРБІТАЛЬНИХ РАКЕТ

**Вступ.** Навігація і орієнтація є ключовими задачами для об'єктів різного призначення і зокрема для суборбітальних ракет (СР) [1]. Перспективною ракетою суборбітального класу є ракета ALPHA приватної американської компанії «FIREFLY AEROSPACE». Ця ракета вибрана за прототип для визначення обрису безплатформної інерційної навігаційної системи (БІНС) для СР, оскільки вона створюється в рамках широкої міжнародній кооперації із значною участю вітчизняних фахівців. Основні технічні характеристики ракети ALPHA приведені в табл.1. [2].

*Табл. 1. Основні технічні характеристики ракети ALPHA*

Технічна характеристика	Значення
Корисне навантаження при підйомі на висоту 500 км, кг на висоті 200 км, кг	745 1375
Загальна підйомна вага, кг	54 120
Кількість ступенів ракети	дві
Загальна довжина / максимальний діаметр, м	29.48 / 2,2
Тип ракетного палива	RP-1
Тип системи наведення	Комбінована

**Постановка задачі.** БІНС для СР повинна задовольняти таким вимогам: точність визначення кутової орієнтації ракети ( $\varphi$ ) від 30 до 60 кут. с., а похибки виведення корисного вантажу на сонячно-синхронну орбіту Землі висотою 600 км повинні бути менші 200 м [1].

*Табл. 2. Узагальнене порівняння БІНС та СНС.*

	Переваги	Недоліки
БІНС	Швидкість видачі інформації (до 100 Гц); автономність; висока надійність навігаційного забезпечення; інформативність; завадозахищеність.	Необмежене зростання похибок у часі; необхідність знання моделі гравітаційного поля Землі.
СНС	Точність; похибки не мають тенденції до накопичення.	Низька швидкість обміну інформації (1..10 Гц); слабка завадозахищеність.

Досягнення високої точності і надійності навігаційних систем для СР досягається за рахунок використання сучасних інерціальних вимірювачів, комплексної обробки надмірної навігаційної інформації та передових обчислювальних засобів. Особливістю такого підходу є використання інформації від БІНС та супутникових навігаційних систем (СНС). Узагальнене порівняння переваг і недоліків цих навігаційних систем приведено в Табл. 1. [3].

Табл. 3. Порівняння основних характеристик деяких ВОГ

	Fiber Optic gyroscope VG103PT «Fizoptika»	ВГ071П-ТА-01 «Fizoptika»	ЛК-ВОГ 200 «LASER components»
Діапазон вимірюваних швидкостей, °/с	±350	590	±450
Робоча смуга частот, кГц	0.1...1	0...1	0.1...1
Кутовий випадковий дрейф, °/год	≤0.02	0.03	≤0.1
Стабільність швидкості дрейфу, СКО °/год	≤0,5	3	0.5-1
Стабільність МК, СКО, %	≤0,02	≤0,1	≤0.09

Відомо три основні варіанти конструкції БІНС для рухомих об'єктів. Перший варіант передбачає наявність у складі БІНС шести акселерометрів, що рознесені по осях об'єкта та обчислювального пристрою. Другий - включає три лінійні акселерометри та три вимірювачі кутової швидкості об'єкта відносно центра мас, що встановлюються поблизу центра мас об'єкта а також обчислювальний пристрій. Третій – створюється на основі трьох акселерометрів та трьох вимірювачів кутового положення в інерціальному просторі, що встановлені поблизу у центра мас об'єкта. Для ракетних застосувань найбільш перспективним вважається другий варіант [4]. До перспективних інерціальних датчиків космічного застосування відносяться волоконно-оптичні гіроскопи (ВОГ) та компенсаційні кварцові акселерометри (КА) [6].

Проведено порівняльний аналіз ВОГ та КА для використання в БІНС для СР типу ALPNA, Табл. 1., Табл. 2[5,6]. Для поставленої задачі навігаційна система буде складатись з малогабаритної інерціальної навігаційної системи на основі трьох волоконно-оптичних гіроскопів VG103PT виробництва «Fizoptica» (м. Мальта) та трьох акселерометрів АКС-05, виробництва казенного підприємства спеціального приладобудування «Арсенал» (м. Київ).

Табл. 4. Порівняння основних характеристик деяких акселерометрів

	AS-300 «BWESENSING»	АКС-05 ДП Завод «Арсенал»	AS-400 «LASER components»
Діапазон вимірювання лінійних прискорень, g	±3	±2	±3
Масштабний коефіцієнт, mА/g	0.375	1.1±0.11	0.1875
Стабільність масштабного коефіцієнта, %	0.1	0.01	0.1
Діапазон робочих температур, °С	-40...+135	-40...+85	-40...+135

**Висновки.** Для побудови безплатформної інерціальної навігаційної системи для суборбітальної ракети типу ALPHA рекомендується створення інтегрованої БІНС+СНС на основі трьох волоконно-оптичних гіроскопів VG103PT та трьох акселерометрів АКС-05 із використанням алгоритмів комплексної обробки навігаційної інформації на основі субоптимального фільтру Калманівського типу.

#### Джерела

1. Лысенко Л.Н.Л886 Наведение и навигация баллистических ракет: Учеб. пособие. - М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. -672 с.].
2. FIREFLY AEROSPACE Alpha payload user guide link: <https://firefly.com/wp-content/uploads/2022/05/Alpha-PUG-3.1.pdf>
3. Синеглазов В.М., Захарин Ф.М. Теоретические основы проектирования интегрированных навигационных комплексов беспилотных летательных аппаратов / Киев. “Освіта України”, 2015. – 341 с., Андреев В.Д. Теория инерциальной навигации. Корректируемые системы. – М.: Наука, 1967.]
4. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем.
5. «Fizoptika» VG103PT посилання: <https://fizoptika.com/fiber-optic-gyroscope-factory/>
6. MEMS акселерометр AS-300 «BWESENSING» посилання: <https://www.directindustry.com/prod/wuxi-bewis-sensing-tecnology-llc/product-216619-2266110.html>
7. Inertial Sensor-Based Gait Recognition/ Sebastijan Sprager