

- ренция по космическим исследованиям, 2005г.: сб. тезисов – НЦУИКС, Евпатория, 2005. – С. 51–52.
13. Бузовский О. В. Компьютерная обработка изображений //О. В. Бузовский, А. А. Болдак, М. Х. Мохаммед Руми./ – К.: Корнійчук, 2001. – 180 с.

УДК 621.396:621.372

**Л. М. Рижков, Д. М. Бахтін**

## **АРХІТЕКТУРА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОБРОБКИ НАВІГАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ МІКРОСУПУТНИКА**

### **Вступ**

Задача визначення навігаційних параметрів мікросупутника є актуальною в наш час у зв'язку з активним розвитком галузі супутникобудування, та використання мікросупутників для виконання господарських та підприємницьких завдань.

Супутникова навігаційна система (СНС) – комплексна електронно-технічна система, що складається із сукупності наземного і космічного устаткування, призначена для визначення місця розташування (географічних координат і висоти), а також параметрів руху (швидкості, напрямку, динаміка руху і т. д) для наземних, водних і повітряних об'єктів [1].

Система обробки навігаційної інформації мікросупутника (СОНІМ) використовується для визначення, реєстрації та обробки навігаційної інформації з метою визначення положення мікросупутника відносно Землі та подальшої передачі цієї інформації для виконання покладених на мікросупутник завдань.

Дослідивши доступні на сьогоднішній день приймачі СНС, до складу СОНІМ було вирішено включити приймач АН-4706, що приймає сигнали СНС ГЛОНАСС, GPS (Global Position System) та сигнали підвищення точності визначення положення. Перевагами цього приймача для використання на борту мікросупутника є: роздільні тракти прийому сигналів СНС ГЛОНАСС і GPS NAVSTAR, що забезпечує підвищену завадостійкість, якісні вбудовані RAIM алгоритми, які розраховані на низькодинамічні об'єкти, малі габаритні розміри, доступна вартість та вага не більше 15 грамів.

За рахунок прийому сигналів окремо з двох СНС точність приймача, а, відповідно, і точність визначення навігаційних параметрів, порівняльно вища на  $(10\div30)\%$  [2], ніж у інших навігаційних системах, що встановлені

в мікросупутниках та безпілотних літальних апаратах (БПЛА), де використовуються приймачі лише СНС GPS NAVSTAR, для яких характерне значне енергоспоживання та габаритні розміри [3].

### Постановка задачі

Задачею роботи є дослідження стандартів обміну інформацією між бортовими навігаційними пристроями, розробка архітектури та СОНІМ, яка б забезпечила малогабаритність, зменшення енергоспоживання, та давала б можливість підвищити точність забезпечення реєстрації та обробки навігаційної інформації мікросупутника за рахунок застосування сучасних алгоритмів обробки інформації та фільтрації сигналів.

### Реєстрація навігаційної інформації мікросупутника

Для вирішення задачі реєстрації навігаційної інформації використовуються наступні стандарти протоколів обміну між приймачем та середовищем обробки та зберігання інформації: IEC1162 (NMEA0183), BINR.

NMEA0183 – це формат передачі повідомлень між корабельними приладами. Він містить у собі систему повідомлень для обміну інформацією між навігаційними приймачами системи GPS і споживачами навігаційної інформації [4]. Всі команди та повідомлення, які відносяться до GPS приймачів, передаються в текстовому коді ASCII (American standard code for information interchange), американському стандартному коді обміну інформацією. Розглянемо приклад RMC – рекомендованого мінімуму GPS/навігаційних даних:

```
$GPRMC,hhmmss.ss,A,GGMM.MM,P,gggmm.mm,J,v.v,b.b,ddmmyy,x.  
x,n,m*hh<CR><LF>
```

Де:

«GP» – ідентифікатор джерела; в наведеному прикладі це GPS;

«GL» – ГЛОНАСС;

«GA» – Галілео;

«GN» – ГНСС (Глобальна навігаційна супутникова система) тощо.

«RMC» – «Recommended Minimum sentence C».

«Hhmmss.ss» – час фіксації місця розташування за всесвітнім координованим часом UTC : «hh» – годинник, «mm» – хвилини, «ss.ss» – секунди . Довжина дробової частини секунд варіюється. Лідируючі нулі не опускаються.

«A» – статус : «A» – дані достовірні, «V» – недостовірні.

«GGMM.MM» – широта. 2 цифри градусів («GG»), 2 цифри цілих хвилин, точка та дрібна частина хвилин змінної довжини.

«P» – «N» для північної або «S» для південної широти.

«Gggmm.mm» – довгота. 3 цифри градусів «ggg»), 2 цифри цілих хвилин, точка та дрібна частина хвилин змінної довжини. Лідируючі нулі не опускаються.

«J» – «E» для східної або «W» для західної довготи.

«V» – горизонтальна складова швидкості відносно землі у вузлах. Число з плаваючою крапкою. Ціла і дробова частини змінної довжини.

«Bb» – подорожній кут (напрямок швидкості) в градусах. Число з плаваючою крапкою. Ціла і дробова частини змінної довжини. Значення рівне 0 відповідає руху на північ, 90 – схід, 180 – південь, 270 – захід.

«Ddmmуу» – дата: день місяця, місяць, останні 2 цифри року (ведучі нулі обов'язкові).

«Xx» – магнітне схилення в градусах (часто відсутня), розраховане за деякою моделлю. Число з плаваючою крапкою. Ціла і дробова частини змінної довжини.

«N» – напрям магнітного відхилення: для отримання магнітного курсу магнітне схилення необхідно « » – відняти, «W» – додати до істинного курсом.

«M» – індикатор режиму: «A» – автономний, «D» – диференціальний, «E» – апроксимація, «N» – недостовірні дані (часто відсутня, дане поле включаючи кому відсутній у старих версіях NMEA).

«Hh» – контрольна сума.

<CR> – Байт дорівнює 0x0D.

<LF> – Байт дорівнює 0x0A.

BINR – протокол обміну даними між навігаційними пристроями, розроблено фірмою «КБ НАВИС» [5]. У якості лінії передачі даних використовується двонаправлений послідовний інтерфейс RS-232. Обмін інформацією по протоколу BINR з апаратурою відбувається за допомогою наступних пакетів:

<DLE> <ID> [Дані] [<DLE> <CRC> <KC>] <DLE> <ETX>, де:

<DLE> – 1 байт, ознака початку службового коду (код 10h або 00010000b).

<ID> – 1 байт, ідентифікатор пакету, може мати будь-яке значення нерівне <DLE>, <ETX> і <CRC>.

[Дані] – необов'язкова частина, яка містить дані, що передаються.

<CRC> – 1 байт, ознака початку контрольної інформації (код FFh або 11111111b).

<KC> – 2 байти, контрольна інформація пакета.

<ETX> – 1 байт, ознака кінця пакету (код 03h або 00000011b).

Приймач АН-4706 забезпечує обмін інформацією з зовнішніми системами по протоколу NMEA-0183 (IEC 1162) або по протоколу BINR [6]. Обмін інформацією забезпечується стандартами послідовного інтерфейсу RS-232. Також АН-4706 забезпечує прийом і облік коректуючої інформації

за стандартами RTCMSC-104V2.2, обмін з зовнішніми споживачами відбувається по інтерфейсу SPI.

### Архітектура системи обробки навігаційної інформації мікросупутника

Основними складовими СОНІМ є: приймач радіочастот (RF-приймач), навігаційний процесор, RF-антена, додаткові елементи, що забезпечують функціонування: вихід послідовного інтерфейсу для передачі інформації RS-232, програмне забезпечення (ПЗ) для відображення навігаційної інформації тощо.

Умовно СОНІМ можна розділити на бортову (прилади, що знаходяться на борту мікросупутника) та небортову складові (технічне та програмне забезпечення, що працює на Землі).

Приймач АН-4706, що входить до складу СОНІМ, має роздільні тракти прийому сигналів СНС ГЛОНАСС і GPS NAVSTAR. Точність визначення орбітального положення за допомогою цих систем різниться і становить до 10 м для GPS [7] та до 2 м – у випадку використання сумісно СНС ГЛОНАСС і GPS NAVSTAR [8].

До бортової частини СОНІМ входить приймач радіочастот (RF-приймач), навігаційний процесор та RF-антена (рис. 1).

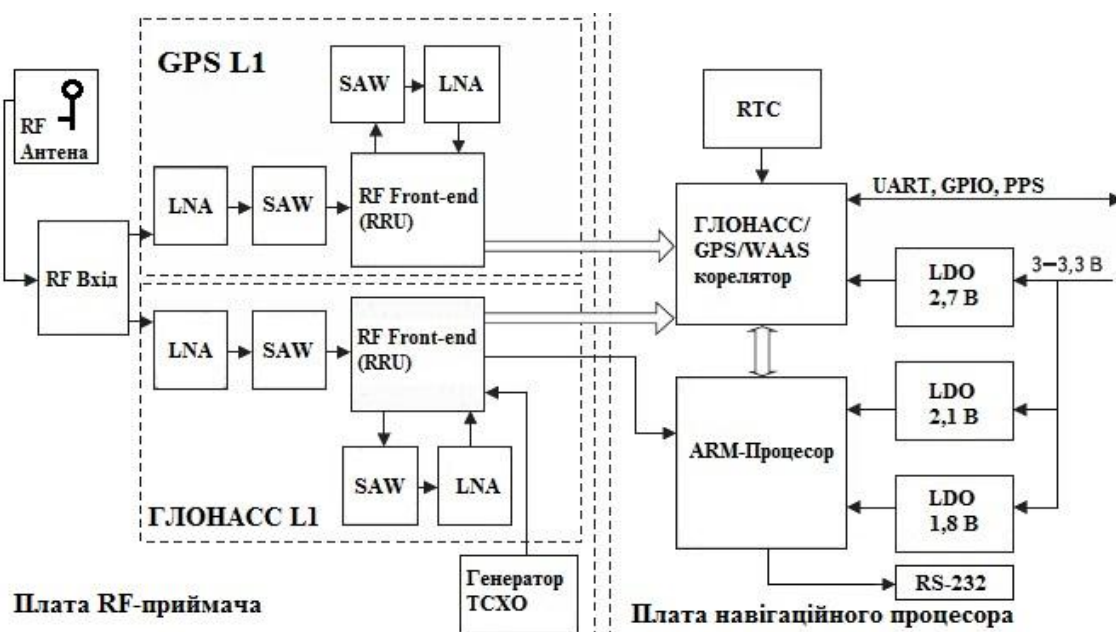


Рис. 1. Функціональна схема бортової частини СОНІМ

*RF Front-end (RRU)* – надвеликі інтегральні схеми радіоприймально-го пристрою.

*LNA* – інтегральні схеми малошумних підсилювачів.

*SAW* – комплект фільтрів на поверхневих акустичних хвилях.

*RTC* – Real Time Clock, синхронізований годинник.

Генератор TCXO – кварцевий генератор з термо-стабілізацією.

*LDO* – лінійні регулятори напруги.

*RS-232* – вихід послідовного інтерфейсу для передачі інформації.

*UART, GPIO, PPS* – додаткові інтерфейси обміну даними.

Отримана навігаційна інформація передається в головний мікроконтролер мікросупутника через двонаправлений послідовний інтерфейс RS-232, де вона може використовуватися для виконання бортових завдань мікросупутника, а також, за необхідності, передаватися на Землю у складі синхронізованої телеметричної інформації з використанням кодів, що виправляють помилки [9], де її можна відобразити у графічному вигляді за допомогою додаткового ПЗ [10], що також є частиною СОНІМ (рис. 2).

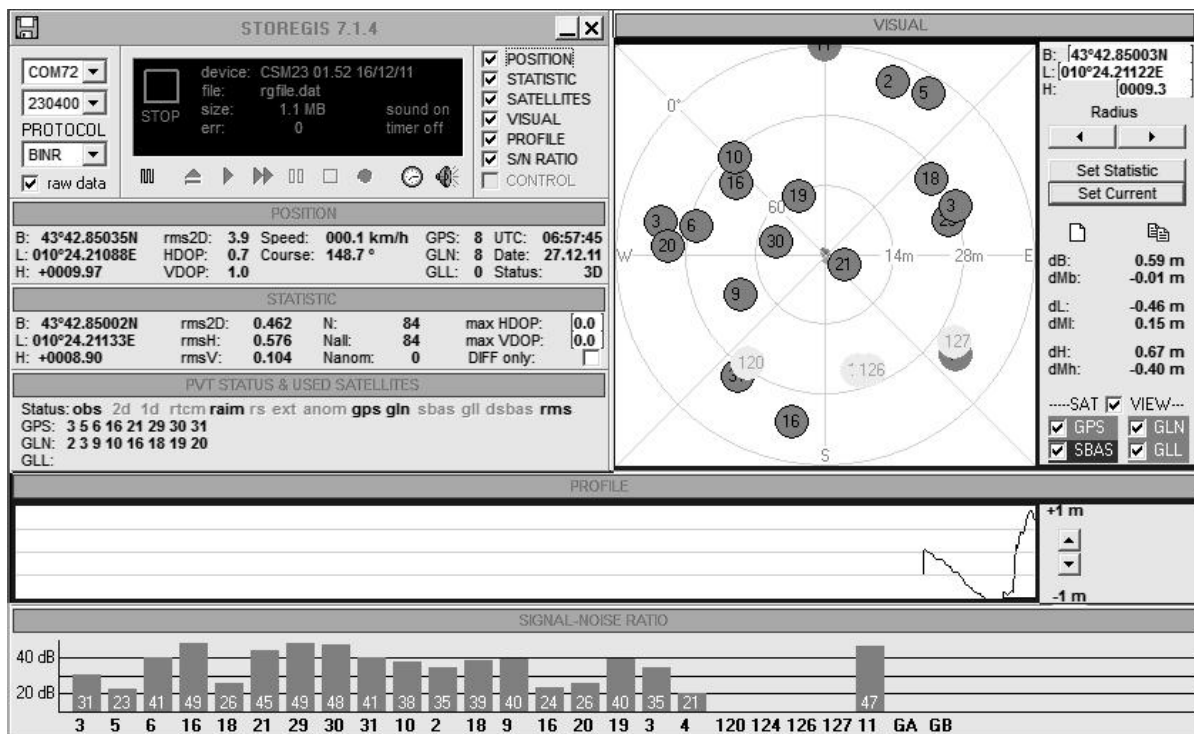


Рис. 2. Програмне забезпечення для відображення та обробки навігаційної інформації

### Організація системи обробки навігаційної інформації мікросупутника

Проаналізувавши схеми підключення приймача АН-4706, для організації бортової частини СОНІМ запропонована друкована плата, розроблена у Sprint Layout – середовищі для розробки односторонніх і двосторонніх багатошарових друкованих плат. (рис. 3).

Отримані результати роботи будуть застосовані для створення та подальших експериментальних досліджень системи обробки навігаційної інформації мікросупутника.

Принциповим на цьому етапі роботи є контроль якості реєстрації та передачі первинної вимірювальної інформації приймачів, який включає

виявлення і усунення впливу на вимірювання вплив електромагнітних перешкод, аномальних спостережень, обумовлених збоями приймачів, порушенням технічного процесу монтажу та/або інших факторів.

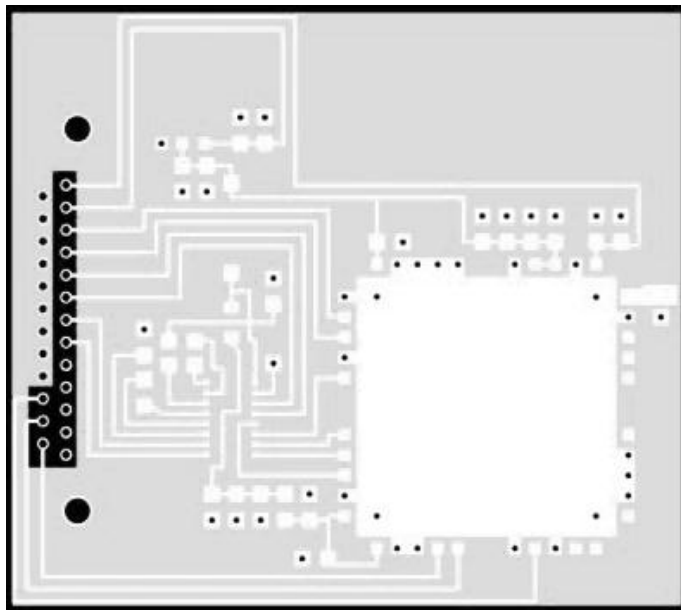


Рис. 3. Друкована плата бортової складової СОНІМ

Від надійності контролю на всіх етапах роботи залежить в першу чергу точність визначення місця розташування.

Розробляючи структуру печатної плати – були враховані вимоги до системи живлення та габаритних характеристик. Розрахункова вага становить не більше 100г, розрахункові габаритні характеристики не більше 100х100х25 мм, типові: 85х85х20.

### **Висновки**

В результаті роботи на основі досліджень стандартів обміну інформацією між навігаційними пристроями, паспортних даних та електричних схем приймача АН-4706, проаналізована можливість застосування запропонованої структури апаратно-програмного комплексу, яка може забезпечити:

- визначення навігаційних параметрів мікросупутника з точністю на 10 ... 30% вищою, ніж в інших системах навігації, що застосовуються в мікросупутниках;
- вищу завадостійкість, що реалізована за рахунок роздільних трактів прийому сигналів СНС ГЛОНАСС і GPS NAVSTAR;
- зменшення ваги та розмірів бортової складової системи. Розрахункова вага становить не більше 100 г, розрахункові габаритні характеристики не більше 100х100х25 мм;
- зменшення енерговитрат. Приймач має режим енергозбереження, який автоматично вмикається при наявності альманахів.

## Список використаної літератури

1. Бессонов А. А. Спутниковые навигационные системы: Учебное пособие / А. А. Бессонов, В. Я. Мамаев // СПб. ГУАП, 2006. - 36 с.
2. Pinard D, et al. Accurate and autonomous navigation for the ATV. Aerospace Science and Technology. // Vol. 11, 2007.
3. MicroSat Systems Inc. SLIPP Releasable Proposal. s.l. // Dr. Dave Klumpar, klump@physics.montana.edu, 2006.
4. Протокол NMEA и команды управления GPS-приемниками// Интернет-ресурс [http://fort21.ru/download/protocol\\_nmea.pdf](http://fort21.ru/download/protocol_nmea.pdf).
5. ЗАО «КБ НАВИС»: Описание протокола обмена BINR приемника АН-4706.
6. Особливості та характеристики модуля NAVIS CH-4706 // Интернет-ресурс [http://www.navis.ru/catalog\\_10\\_1.html](http://www.navis.ru/catalog_10_1.html).
7. Montenbruck O. GPS for Microsatellites – Status and Perspectives //О. Montenbruck, M. Markgraf, M. Garcia, A. Helm / IAA-B6-0501; 6th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation; April 23-26, 2007, Berlin, Germany.
8. ЗАО «КБ НАВИС»: Приемник СН-4706 Руководство по эксплуатации //ТДЦК.434855.001 РЭ – 5с.
9. Зинченко В. П. Разработка систем передачи телеметрической информации для космических объектов // В. П. Зинченко, В. А. Буров, С. В. Зинченко, А. В. Штефлюк / Системні дослідження та інформаційні технології. - 2005. – № 3. - С. 57 – 72.
10. STOREGIS – Програмне забезпечення, призначене для візуалізації одержуваних від навігаційного приймача даних // Интернет-ресурс <http://nvs-gnss.ru/support/software/item/24-storegis.html>.

UDC 62-752.4:621.373.8

Е. А. Bondarenko

## ESTIMATION OF THE LASER GYRO SYNCHRONIZATION ZONE DEPENDENCE ON THE CURVATURE RADIUS OF SPHERICAL MIRRORS

### 1. Introduction

Among the main types of the laser gyros that are widely used in practice, one can highlight the device based on a ring gas *He – Ne* laser (the ratio of the isotope concentrations,  $^{20}\text{Ne} : ^{22}\text{Ne} = 1:1$ ) with a flat *N*-mirror ( $N = 3, 4$ )