

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет/інститут космічних технологій _____
(повна назва)

Кафедра систем керування літальними апаратами _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) _____

Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) – 6.051103
«Авіоніка» (системи керування літальними апаратами та комплексами)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О.В. Збруцький

(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Поволоцькому Богдану Анатолійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Беплатформова інерціальна навігаційна система підвищеної надійності із збитковою архітектурою чутливих елементів (6 гіроскопів, 6 акселерометрів): конструкція і алгоритми.

керівник проєкту Пономаренко Сергій Олексійович, к. т. н., доцент, _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від _____ № _____

2. Термін подання студентом проєкту 15 червня 2020 р. _____

3. Вихідні дані до проєкту:

| | | | | | | |
|-----|-----|----------|--------|----|---------------------|-----|
| | | | | | КП ЧЕСАЗ.01.1.07 ПЗ | Арк |
| Изм | Арк | № докум. | Підпис | Да | | |

Вимоги до перспективної авіаційної БІНС: похибка автономного зчислення координат – не більше 0,9 км/год; час готовності – не більше 4 хв; маса – не більше 12 кг.

Вимоги до характеристик датчиків первинної інформації перспективної авіаційної БІНС:

гіроскопів: випадкова швидкість дрефу °/год – не більше 0,005; час функціональної готовності, хв – не більше 3; маса, кг – не більше 0,3; робоча температура, °С – не гірше ніж від – 40 до + 60;

акселерометрів: нестабільність зміщення нульового сигналу – не більше $1.3 \cdot 10^{-4}g$; похибка масштабного коефіцієнта – не гірше $2 \cdot 10^{-4}$.

∴
4. Зміст пояснювальної записки

4.1. Сучасний стан та перспективи розвитку безплатформових інерціальних навігаційних систем.

4.2. Сучасний стан та перспективні розробки акселерометрів для авіаційних застосувань. Вибір акселерометрів для перспективної авіаційної БІНС.

∴
4.3. Сучасний стан та перспективні розробки гіроскопів для авіаційних застосувань. Вибір гіроскопів для перспективної авіаційної БІНС.

∴
4.4. Вибір схеми установки (розміщення) збиткових датчиків первинної інформації (6 гіроскопів, 6 акселерометрів) для перспективної авіаційної БІНС.

∴
4.5. Розробка конструкції інерціального вимірювального модуля із збитковою кількістю датчиків первинної інформації (6 гіроскопів, 6 акселерометрів) для перспективної авіаційної БІНС.

4.6. Розробка макету інерціального вимірювального модуля із збитковою кількістю датчиків первинної інформації (6 гіроскопів, 6 акселерометрів) для перспективної авіаційної БІНС.

4.7. Розроблення алгоритмів підвищення надійності БІНС – обробка збиткових вимірювань від 6х6 датчиків первинної інформації.

4.8. Математичне моделювання алгоритмів обробки збиткової інформації від 6-ти акселерометрів та 6-х гіроскопів.

∴
4.9. Розробка структури алгоритмічного забезпечення перспективної авіаційної БІНС.

4.10. Вибір алгоритмів функціонування перспективної авіаційної БІНС.

∴
4.11. Оформлення звітних матеріалів дипломного проекту.

| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|----------|--------|----|---------------------|--|--|--|-----|--|
| | | | | | | | | | Арк | |
| Изм | Арк | № докум. | Підпис | Да | КП ЧЕСАЗ.01.1.07 ПЗ | | | | | |

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) _____

5.1. Плакат з таблицями характеристик перспективних інерціальних вимірювачів для _____ авіаційних _____ застосувань.

5.2. Плакат із існуючими схемами розміщення збиткової кількості ДШ в інерціальному _____ вимірювальному _____ модулі.

5.3. Розроблена конструкція інерціального вимірювального модуля для перспективної _____ авіаційної _____ БІНС.

5.4. Результати моделювання алгоритмів обробки збиткової інформації від 6-ти акселерометрів _____ та _____ 6-х гіроскопів.

5.5. Структурна схема математичного забезпечення перспективної авіаційної БІНС. _____.

6. Консультанти розділів проекту

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Програмне і мікропроцесорне забезпечення | | | |

7. Дата видачі завдання _____ 7 жовтня 2019 р. _____

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1. | Сучасний стан та перспективи розвитку безплатформових інерціальних навігаційних систем. | 07.10.19-31.10.19 | |
| 2. | Сучасний стан та перспективні розробки акселерометрів для авіаційних застосувань. Вибір акселерометрів для перспективної авіаційної БІНС. | 01.11.19-20.11.19 | |
| 3. | Сучасний стан та перспективні розробки гіроскопів для авіаційних застосувань. Вибір гіроскопів для перспективної авіаційної БІНС. | 21.11.19-15.12.19 | |

| | | | | | | |
|-----|-----|----------|--------|----|---------------------|-----|
| | | | | | КП ЧЕСА3.01.1.07 ПЗ | Арк |
| Изм | Арк | № докум. | Підпис | Да | | |

| | | | |
|-----|---|-------------------|--|
| 4. | Вибір схеми установки (розміщення) збиткових датчиків первинної інформації (6 гіроскопів, 6 акселерометрів) для перспективної авіаційної БІНС. | 16.12.19-25.12.19 | |
| 5. | Розробка конструкції інерціального вимірювального модуля із збитковою кількістю датчиків первинної інформації (6 гіроскопів, 6 акселерометрів) для перспективної авіаційної БІНС. | 03.01.20-20.01.20 | |
| 6. | Розробка макету інерціального вимірювального модуля із збитковою кількістю датчиків первинної інформації (6 гіроскопів, 6 акселерометрів) для перспективної авіаційної БІНС. | 21.02.20-20.03.20 | |
| 7. | Розроблення алгоритмів підвищення надійності БІНС – обробка збиткових вимірювань від 6×6 датчиків первинної інформації. | 21.03.20-30.04.20 | |
| 8. | Математичне моделювання алгоритмів обробки збиткової інформації від 6-ти акселерометрів та 6-х гіроскопів. | 01.05.20-11.05.20 | |
| 9. | Розробка структури алгоритмічного забезпечення перспективної авіаційної БІНС. | 11.05.20-20.05.20 | |
| 10. | Вибір алгоритмів функціонування перспективної авіаційної БІНС. | 21.05.20-25.05.20 | |
| 11. | Оформлення звітних матеріалів дипломного проекту. Підготовка до захисту дипломного проекту. | 26.05.20-30.05.20 | |
| 12. | Захист дипломного проекту | Червень 2020 | |

Студент

_____ (підпис)

Б.А. Поволоцький .

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

_____ (підпис)

С.О. Пономаренко

(ініціали, прізвище)

| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|----------|--------|----|---------------------|--|--|--|--|-----|
| | | | | | | | | | | Арк |
| Изм | Арк | № докум. | Підпис | Да | КП ЧЕСАЗ.01.1.07 ПЗ | | | | | |

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

БІНС – безплатформна інерціальна навігаційна система

ДКШ – датчик кутової швидкості

РВГ – роторний вібраційний гіроскоп

БЧЕ – блок чутливих елементів

АКС – акселерометр

| | | | | | | |
|-----|-----|----------|--------|----|---------------------|-----|
| | | | | | КП ЧЕСАЗ.01.1.07 ПЗ | Арк |
| Изм | Арк | № докум. | Підпис | Да | | |

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 3 |
| 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БЕЗПЛАТФОРМОВИХ ІНЕРЦІАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ..... | 5 |
| 2 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВНІ РОЗРОБКИ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ.. | 10 |
| 3 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВНІ РОЗРОБКИ ГІРОСКОПІВ..... | 19 |
| 4 СХЕМА РОЗМІЩЕННЯ ІНЕРЦІАЛЬНИХ ДАТЧИКІВ..... | 24 |
| 5 КОНСТРУКЦІЯ БЛОКА ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ..... | 25 |
| 6 ПАТЕНТНИЙ ПОШУК ЗА ТЕМОЮ «АЛГОРИТМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ БІНС»..... | 27 |
| 7 АЛГОРИТМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ БІНС..... | 34 |
| 8 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ..... | 40 |
| 9 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ..... | 42 |
| 10 ВИБІР АЛГОРИТМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ..... | 45 |
| ВИСНОВКИ..... | 50 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... | 51 |

| | | | | | | |
|-----|-----|----------|--------|----|---------------------|-----|
| | | | | | КП ЧЕСАЗ.01.1.07 ПЗ | Арк |
| Изм | Арк | № докум. | Підпис | Да | | |

ВСТУП

Безплатформні інерціальні навігаційні системи (БІНС) почали бурхливо розвиватися з часу появи сучасних типів датчиків кутової швидкості (ДКШ). Проблема невеликої точності та надійності старих ДКШ на поплавкових гіроскопах була вирішена після того, як вдалося побудувати волоконно-оптичні та кільцеві лазерні гіроскопи високої точності .

Ці датчики мають набагато більшу надійність та час напрацювання на відмову через те, що позбавлені механічних рухомих частин. З розвитком техніки спостерігається значне покращення точності цих приладів. Досить сказати, що майже всі системи навігації балістичних ракет і літаків мають у своєму складі БІНС на волоконно-оптичних або лазерних гіроскопах . Однак сучасні БІНС на лазерних та волоконно-оптичних гіроскопах не позбавлені низки недоліків, таких як:

- великі габарити і маса;
- спеціальна технологія виготовлення чутливих елементів;
- висока вартість.

Наразі дедалі більшого поширення набувають гіроскопи, які вирізняються пружним з'єднанням їх чутливого елемента з основою. Як чутливий елемент застосовують обертовий ротор або коливальну інерційну масу. В першому випадку для забезпечення необхідної кількості ступенів вільності ротора використовується пружний внутрішній карданів підвіс, елементи якого обертаються разом із ротором гіроскопа. Такий прилад називають роторним вібраційним гіроскопом (РВГ). РВГ мають набагато кращі масогабаритні параметри. Вони можуть виготовлятися на підприємствах приладобудування без

| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|----------|--------|----|---------------------|--|--|--|-----|--|
| | | | | | | | | | Арк | |
| Изм | Арк | № докум. | Підпис | Да | КП ЧЕСАЗ.01.1.07 ПЗ | | | | | |

впровадження специфічних оптичних технологій. Використання як датчиків кутів РВГ дасть змогу значно зменшити габарити, масу та вартість БІНС. Це дасть можливість застосовувати систему на малогабаритних та безпілотних об'єктах.

| | | | | | | |
|-----|-----|----------|--------|----|---------------------|-----|
| | | | | | КП ЧЕСАЗ.01.1.07 ПЗ | Арк |
| Изм | Арк | № докум. | Підпис | Да | | |

ВИСНОВКИ

Метою цієї роботи було розроблення БІНС підвищеної надійності із збиковою архітектурою чутливих елементів.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз сучасних та оцінено перспективи розвитку сучасних БІНС;
- проведено аналіз та оглянуто перспективні розробки акселерометрів та гіроскопів;
- вибрано інерціальні датчики;
- розраховано та вибрано схему установки інерціальних датчиків;
- розроблено конструкцію перспективної БІНС;
- проведено патентний пошук алгоритмів підвищення надійності БІНС;
- розглянуто існуючі алгоритми підвищення надійності;
- розраховано математичну модель алгоритмів підвищення надійності;
- розроблено структуру алгоритмічного забезпечення;
- вибрано алгоритми функціонування перспективної БІНС.

| | | | | | | |
|-----|-----|----------|--------|----|---------------------|-----|
| | | | | | КП ЧЕСАЗ.01.1.07 ПЗ | Арк |
| Изм | Арк | № докум. | Підпис | Да | | |

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВТГ ДЛЯ АППАРАТОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАПУСК СПУТНИКОВ.
Негри С., Лабарр Э., Линьон К., Бруншштейн Э., Салаён Э.
2. ОБ ОРИЕНТАЦИИ ОСЕЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДАТЧИКОВ ИЗБЫТОЧНЫХ БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ. Кобылкин Ю., Сосновский М.
3. МАЛОГАБАРИТНАЯ СИСТЕМА ПЕРСОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ НА БАЗЕ НЕОРТОГОНАЛЬНОГО ИНЕРЦИАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БЛОКА С ИЗБЫТОЧНОЙ СТРУКТУРОЙ. Маринушкин П., Нестеренко Т.Г.
4. НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ (БИНС). Алехова Е.
5. Патент РФ №2690004.
6. Патент РФ № 2634082.
7. Патент РФ № 2690708.
8. Патент РФ № 90895.
9. Патент РФ № 2468374.
10. Патент РФ № 2515378.
11. ОРИЕНТАЦИЯ И НАВИГАЦИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ. СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. Алешин Б., Веремеенко К., Черноморский А.
12. ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ БЛОКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ: ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ. Водичева Л., Бельский Л., Парышева Ю., Лыспов А.
13. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОРРЕКЦИИ ПОКАЗАНИЙ БИНС ПРИ ПОМОЩИ АСТРОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ. Лукин К., Павлов Д., Петров М.

| | | | | | | |
|-----|-----|----------|--------|----|---------------------|-----|
| | | | | | КП ЧЕСАЗ.01.1.07 ПЗ | Арк |
| Изм | Арк | № докум. | Підпис | Да | | |