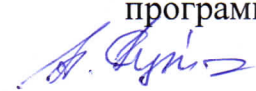


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”

кафедра Систем управління літальних апаратів (№ 301)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньо-професійної
програми

 А.С. Кулік
«27» серпня 2021 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА ОBOB'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ПРОЕКТУВАННЯ АВТОНОМНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

(шифр і назва навчальної дисципліни)

Галузі знань: 17 «Електроніка та телекомунікації».

Спеціальності: 173 «Авіоніка».

Освітні програми: Системи автономної навігації та адаптивного управ-
ління літальних апаратів.

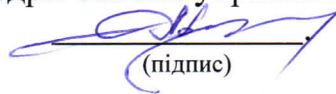
Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти:

другий (магістерський)

Харків 2021

Розробник: Паршин А.П., доцент кафедри Систем управління літальних апаратів, к.т.н., доцент

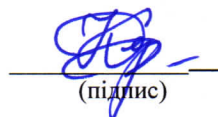


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри Систем управління літальних апаратів

Протокол № 1 від “27” серпня 2021 р.

Завідувач кафедри 301 к.т.н., доцент



(підпис)

(К.Ю. Дергачов)
(прізвище та ініціали)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
		Денна форма навчання	
Кількість кредитів – 7	Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації».	Обов’язкова	
Кількість модулів – 4		Навчальний рік:	
Кількість змістових модулів – 4			
Індивідуальні завдання:	Спеціальності: 173 «Авіоніка»,	2021/2022	
		Семестр	
		1-й	2-й
Загальна кількість годин денна 80/210	Освітні програми: Системи автономної навігації та адаптивного управління літальних апаратів.	Лекції	Лекції
		32год.	-
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних - 4 самостійної роботи студента –5,3		Рівень вищої освіти: другий (магістерський).	Практичні
	32 год.		16 год.
	Лабораторні		Лабораторні
	-		-
	Самостійна робота		Самостійна робота
	86 год.		44 год.
	Вид контролю		Вид контролю
	іспит	діф. залік	

Примітка: Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить: для денної форми навчання – 64/86.

Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину залежно від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: формування знань і умінь, необхідних для проектування автономних навігаційних систем ЛА.

Завдання: формування у здобувачів фахових знань і практичних навичок із математичного опису елементів автономних навігаційних систем, методів аналізу навігаційних систем, інженерних методів синтезу алгоритмів автономних навігаційних систем.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей**:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК4. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

ЗК5. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК6. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК8. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК9. Здатність працювати в команді.

ФК2. Вміння використовувати досягнення науки і техніки в професійній діяльності, аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованих завдань з аналізу та синтезу систем навігації

ФК3. Здатність реалізовувати та використовувати апаратні та програмно-алгоритмічні засоби щодо збільшення точності та надійності систем навігації та інших якостей ЛА.

ФК6. Вміння аналізувати системи автоматизації, формувати архітектуру систем автоматичного управління, виділяти підсистеми, що є складовими загальної системи та взаємозв'язки поміж ними.

ФК7. Вміння визначати склад випробувального обладнання необхідного для проведення експериментів по визначенню характеристик і параметрів автономних навігаційних систем безпілотних літальних апаратів.

ФК9. Вміння впроваджувати досягнення вітчизняної та закордонної науки та техніки, використовувати інноваційний досвід у галузі автоматизації.

Програмні результати навчання:

ПРН1. Використовувати різні форми представлення систем навігації та описувати їх різними методами (вербально, графічно, формально), аналізувати ситуації, що можуть виникати, під час їх функціонування.

ПРН3. Використовувати досягнення науки і техніки в професійній діяльності, аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованих завдань з аналізу та синтезу систем автономної навігації БПЛА.

ПРН4. Застосовувати сучасні технології автоматизації проектування та конструювання інформаційно-управляючих систем у галузі авіоніки, вміти створювати апаратно-програмні засоби стосовно збільшення точності, надійності функціонування систем управління та інших якостей ЛА.

ПРН7. Аналізувати та створювати архітектуру систем автоматичного управління літальних апаратів, виділяти підсистеми та об'єкти, що є складовими системи, та взаємозв'язки між ними.

ПРН8. Визначати структуру і параметри випробувального обладнання для проведення експериментів по визначенню характеристик приладів та систем управління літальних апаратів, параметрів їх вузлів та виробів.

ПРН12. Використовувати сучасні інформаційно-комунікаційні технології в галузі автономних навігаційних систем.

ПРН13. Розробляти закони управління автономними навігаційними системами БПЛА, складати диференціальні рівняння їх руху, розв'язувати задачі траєкторних вимірювань.

Пререквізити

Передумови для вивчення даної дисципліни:

Вища математика: диференціальне та інтегральне обчислювання; дослідження функцій та побудова їх графіків. Теорія автоматичного управління. Інформаційно-вимірювальні пристрої. Цифрові системи управління.

Кореквізити

Дисципліна підтримує наступні курси:

Системи управління літальними апаратами. Проектування та програмування контролерів систем управління.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1. Принципи проектування автономних навігаційних систем.

Змістовий модуль 1. Принципи проектування автономних навігаційних систем.

Тема 1. Принципи проектування БІНС

Загальні підходи к проектуванню БІНС. Побудова структурної та функціональної схем БІНС. Вибір чутливих елементів. Вибір схеми комплексування навігаційної системи.

Тема 2. Похибки інерціальної навігації.

Похибки БІНС. Ідеальний і обурений режим роботи. БІНС. Рівняння ідеальної і реальної роботи БІНС в інерціальній системі координат. Рівняння ідеальної і реальної роботи БІНС в географічній системі координат. Рівняння помилок. Елементарний аналіз помилок БІНС. Векторна, скалярна моделі похибок БІНС. Рівняння похибок БІНС у межах параметрів орієнтації.

Тема 3. Калібрування БІНС

Моделі вихідних сигналів інерційних вимірювачів. Похибки інерційних чутливих елементів як випадковий процес, моделі похибок інерційних чутливих елементів. Калібрування вимірювального модуля. Температурне калібрування. Використання результатів калібрування.

Тема 4. Демпфування коливань БІНС

Початкова виставка БІНС. Демпфірування коливань БІНС за допомогою внутрішніх зв'язків. Демпфірування за швидкістю від зовнішньої системи.

Модуль 2. Комплексні навігаційні системи

Змістовий модуль 2. Комплексні навігаційні системи

Тема 5. Комплексні навігаційні системи

Принципи побудови комплексних навігаційних систем: спосіб компенсації, спосіб фільтрації. Розімкнута схема комплексування з супутниковою навігаційною системою. Замкнута схема подання з СНС. Варіанти комплексування ІНС і СНС. Слабкозв'язана, сильнозв'язана, глибокоінтегрована схеми комплексування. Фільтр Калмана в комплексних навігаційних системах.

Тема 6. Моделювання комплексних БІНС в середовищі Matlab / Simulink

Моделювання алгоритмів орієнтації з кутами Ейлера-Крилова, з направляючими косинусами, з кватерніонами. Ідентифікація датчиків БІНС в пакеті System Identification Toolbox, засобами Matlab Simulink. Моделювання алгоритмів чисельного рішення кінематичних рівнянь орієнтації на основі методів Рунге-Кутта, методів Пікара.

Модуль 3. БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів.

Тема 7. БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів.

Особливості орієнтації осей чутливих елементів (датчиків) в БІНС з неортогональною розташуванням осей. Рівномірне розміщення вимірювачів. Критерії оптимізації орієнтації вимірювальних осей датчиків. Структурна і функціональна надмірність. Формалізація завдань розміщення вимірювачів.

Тема 8. Моделювання БІНС з неортогонально розташованими чутливими елементами.

Моделювання БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів (з різними алгоритмами орієнтації). Моделювання блоку системи орієнтації БІНС з неортогональним розташуванням ЧЕ.

Змістовий модуль 4. Курсовий проект

Виконання завдань курсового проекту: розробка функціональної схеми комплексної БІНС, розробка структурної схеми, вибір датчиків і алгоритмів обробки інформації, ідентифікація датчиків, розробка принципової схеми пристрою, вибір радіоелементів, дослідження розробленого макету БІНС.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		лек.	пз.	лаб.	с.р.
1	2	3	4	5	7
Модуль 1. Принципи проектування автономних навігаційних систем.					
Змістовий модуль 1. Принципи проектування автономних навіга-					

ційних систем.					
Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни «Проектування автономних інерційних систем». Принципи проектування БІНС.	8	4	-	-	4
Тема 2. Похибки інерціальної навігації.	24	4	4	-	16
Тема 3. Калібрування БІНС.	12	4	2	-	6
Тема 4. Демпфування коливань БІНС.	10	4	2	-	4
Разом за змістовим модулем 1	54	16	8	-	30
Змістовий модуль 2. Комплексні навігаційні системи.					
Тема 5. Комплексні навігаційні системи.	26	6	4	-	16
Тема 6. Моделювання комплексних БІНС в середовищі Matlab/Simulink	28	4	8	-	16
Разом за змістовим модулем 2	54	10	12	-	32
Змістовий модуль 3. БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів.					
Тема 7. БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів.	12	4			8
Тема 8. Моделювання БІНС з неортогонально розташованими чутливими елементами.	30	2	12	-	16
Разом за змістовим модулем 3	42	6	12	-	24
Змістовий модуль 4. Курсовий проєкт					
Виконання завдань курсового проєкту.	60		16		44
Разом за змістовим модулем 4	60		16		44
Усього годин	210	32	48	-	130

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Не заплановано	

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	2	3
Модуль 1. Принципи проектування автономних навігаційних систем.		
1	Розробка моделі датчиків БІНС БПЛА в середовищі Matlab Simulink.	2
2	Моделювання блоку імітації вхідних сигналів БІНС.	2
3	Ідентифікація датчиків в пакеті System Identification Toolbox.	2
4	Ідентифікація датчиків БІНС засобами Matlab Simulink.	2
	Разом за модулем 1	8

Модуль 2. Комплексні навігаційні системи.		
5	Розробка моделі комплексованого блоку системи орієнтації БПЛА в середовищі Matlab Simulink.	4
6	Розробка блоку системи орієнтації з функціональної надмірністю в середовищі Matlab/Simulink.	4
7	Моделювання комплексної безплатформенної навігаційної системи (БІНС).	4
	Разом за модулем 2	12
Модуль 3. БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів.		
8	Розробка моделі БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів	4
9	Дослідження моделі БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів (з різними алгоритмами орієнтації)	4
10	Дослідження моделі БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів (фільтри Вінера, Калмана, Маджвика)	4
	Разом за модулем 3	12
Змістовий модуль 4. Курсовий проект		
1	Розробка функціональної схеми комплексної БІНС.	2
2	Розробка структурної схеми комплексної БІНС.	2
3	Вибір датчиків і алгоритмів обробки інформації.	2
4	Ідентифікація датчиків, отримання передавальної функції датчиків.	2
5	Розробка принципової схеми пристрою, вибір радіоелементів.	2
6	Розробка програмного забезпечення макету БІНС.	2
7	Дослідження розробленого макету БІНС.	2
8	Захист курсового проекту	2
	Разом за модулем 4	16
	Разом	48

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	Не заплановано	

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Модуль 1. Принципи проектування автономних навігаційних систем.		
1	Вступ до навчальної дисципліни «Проектування авто-	2

	номних інерційних навігаційних систем» Загальні підходи к проектуванню БІНС.	
2	Побудова структурної та функціональної схем БІНС.	2
3	Вибір чутливих елементів. Вибір схеми комплексування навігаційної системи.	4
4	Похибки БІНС. Ідеальний і обурений режим роботи. БІНС.	4
5	Рівняння ідеальної і реальної роботи БІНС в інерціальній системі координат.	3
6	Рівняння ідеальної і реальної роботи БІНС в географічній системі координат.	3
7	Рівняння помилок. Елементарний аналіз помилок БІНС.	2
8	Векторна, скалярна моделі похибок БІНС. Рівняння похибок БІНС у межах параметрів орієнтації.	2
9	Моделі вихідних сигналів інерційних вимірювачів. Похибки інерційних чутливих елементів як випадковий процес, моделі похибок інерційних чутливих елементів.	2
10	Калібрування вимірювального модуля. Температурне калібрування. Використання результатів калібрування	2
11	Початкова виставка БІНС.	2
12	Демпфірування коливань БІНС за допомогою внутрішніх зв'язків. Демпфірування за швидкістю від зовнішньої системи.	2
	Разом за модулем 1	30
Модуль 2. Комплексні навігаційні системи.		
13	Принципи побудови комплексних навігаційних систем: спосіб компенсації, спосіб фільтрації.	4
14	Розімкнута схема комплексування з супутниковою навігаційною системою. Замкнута схема подання з СНС.	4
15	Варіанти комплексування ІНС і СНС. Слабкозв'язана, сильнозв'язана, глибокоінтегрована схеми комплексування.	4
16	Фільтр Калмана в комплексних навігаційних системах.	4
17	Моделювання алгоритмів орієнтації з кутами Ейлера-Крилова, з направляючими косинусами, з кватерніонами.	8
18	Ідентифікація датчиків БІНС в пакеті System Identification Toolbox, засобами Matlab Simulink.	4
19	Моделювання алгоритмів чисельного рішення кінематичних рівнянь орієнтації на основі методів Рунге-Кутта, методів Пікара.	4
	Разом за модулем 2	32
Модуль 3. БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів.		

20	Особливості орієнтації осей чутливих елементів (датчиків) в БІНС з неортогональним розташуванням осей.	4
21	Рівномірне розміщення вимірювачів. Критерії оптимізації орієнтації вимірювальних осей датчиків.	4
22	Структурна і функціональна надмірність. Формалізація завдань розміщення вимірювачів.	4
23	Моделювання БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів (з різними алгоритмами орієнтації).	8
24	Моделювання блоку системи орієнтації БІНС з неортогональним розташуванням ЧЕ.	4
Разом за модулем 3		24
Змістовий модуль 4. Курсовий проект		
	Виконання завдань курсового проекту.	44
Разом за модулем 4		44
Разом		130

9. Індивідуальні завдання

Не заплановано.

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, лабораторних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичне забезпечення).

11. Методи контролю

Проведення поточного та модульного контролю, оформлення та захист звітів з лабораторних та практичних робіт, фінальний контроль у вигляді іспиту.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують студенти

1 семестр

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...1	8	0...8
Виконання і захист практичних робіт	2...8	2	6...16
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...2	5	0...10
Виконання і захист практичних робіт	2...8	3	6...24
Змістовний модуль 3			
Робота на лекціях	0...3	3	0...9

Виконання і захист практичних робіт	2...8	4	8...32
Усього			60...100
2 семестр			
Змістовний модуль 4			
Виконання і захист завдання курсового проекту		1	60...100
Усього			60...100

Семестровий контроль (іспит/залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту/заліку. Під час складання семестрового іспиту/заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту/заліку складається з одного теоретичного питання (30 балів), одного практичного питання (30 балів) та одного лабораторного завдання, яке необхідно виконати на лабораторному стенді (40 балів).

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

Знати методи основи інерціальної навігації, принцип роботи безплатформової ІНС, формальний опис алгоритму БІНС, рівняння орієнтації Ейлера, рівняння орієнтації Пуассона, рівняння орієнтації з параметрами Родріга-Гамільтона, рівняння в параметрах вектора орієнтації, принципи комплексування блоку системи орієнтації БПЛА, алгоритми БІНС в інерціальній системі координат, в географічному базисі з узагальненими рівняннями Пуассона, з рівнянням в параметрах Родріга-Гамільтона і з вектором орієнтації. Методи і алгоритми обчислень, моделі вихідних сигналів інерційних вимірювачів, похибки інерційних чутливих елементів як випадковий процес, моделі похибок інерційних чутливих елементів, калібрування вимірювального модуля, температурне калібрування, використання результатів калібрування, принципи побудови комплексних навігаційних систем: способи компенсації, варіанти комплексування ІНС і СНС, особливості орієнтації осей чутливих елементів (датчиків) в БІНС з неортогональної розташуванням осей.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

Вміти виконувати вербальний графічний і математичний опис алгоритму БІНС, рівняння орієнтації Ейлера, рівняння орієнтації Пуассона, рівняння орієнтації з параметрами Родріга-Гамільтона. Виконувати об'єднання показань МЕМС гіроскопів і акселерометрів за допомогою комплементарного фільтра, фільтра Маджвіка, Калмана, Махони, формувати матрицю переходу з зв'язкової системи координат в навігаційну систему координат, вміти провести калібрування вимірювального модуля, температурне калібрування, вико-

ристовувати результати калібрування, ідентифікацію датчиків БІНС в пакеті System Identification Toolbox та засобами Matlab Simulink, моделювати БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів (з різними алгоритмами орієнтації), працювати з обладнанням та засобами вимірювання, які застосовуються при проведенні практичних робіт; програмами моделювання *Matlab Simulink*.

12.3. Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

1. Відмінно (90÷100 балів) виставляється студенту:

1.1 Який твердо знає: методи основи інерціальної навігації, принцип роботи безплатформової ІНС, формальний опис алгоритму БІНС, рівняння орієнтації Ейлера, рівняння орієнтації Пуассона, рівняння орієнтації з параметрами Родріга-Гамільтона, рівняння в параметрах вектора орієнтації, принципи комплексування блоку системи орієнтації БПЛА, алгоритми БІНС в інерціальній системі координат, в географічному базисі з узагальненими рівняннями Пуассона, з рівнянням в параметрах Родріга-Гамільтона і з вектором орієнтації. Методи і алгоритми обчислень, моделі вихідних сигналів інерційних вимірювачів, похибки інерційних чутливих елементів як випадковий процес, моделі похибок інерційних чутливих елементів, калібрування вимірювального модуля, температурне калібрування, використання результатів калібрування, принципи побудови комплексних навігаційних систем: способи компенсації, варіанти комплексування ІНС і СНС, особливості орієнтації осей чутливих елементів (датчиків) в БІНС з неортогональною розташуванням осей.; **вміє:** виконувати вербальний графічний і математичний опис алгоритму БІНС, рівняння орієнтації Ейлера, рівняння орієнтації Пуассона, рівняння орієнтації з параметрами Родріга-Гамільтона. Виконувати об'єднання показань МЕМС гіроскопів і акселерометрів за допомогою комплементарного фільтра, фільтра Маджвіка, Калмана, Махони, формувати матрицю переходу з зв'язкової системи координат в навігаційну систему координат, вміти провести калібрування вимірювального модуля, температурне калібрування, використовувати результати калібрування, ідентифікацію датчиків БІНС в пакеті System Identification Toolbox та засобами Matlab Simulink, моделювати БІНС з неортогональним розташуванням чутливих елементів (з різними алгоритмами орієнтації), працювати з обладнанням та засобами вимірювання, які застосовуються при проведенні практичних робіт; програмами моделювання *Matlab Simulink*.

При цьому студент використовуючи знання з дисципліни, повно та правильно відповідає на всі питання, які були поставлені перед ним. У всіх відповідях студент, не допустив суттєвих неточностей, вільно користується навчальною та науково-технічною літературою з питань дисципліни.

1.2 Який проявляє вміння логічне і чітко скласти свою відповідь, розв'язати типову задачу та практичне завдання, а також відповідати на всі додаткові питання.

1.3 Зменшення кількості балів в межах оцінки можливе при неточних формулюваннях у відповідях на додаткові запитання, які були поставлені перед ним.

2. Добре (75÷89 балів) виставляється студенту:

2.1 Який має достатньо глибокі знання з теоретичної частини дисципліни (п. 1.1), Захистив всі практичні, лабораторні завдання та індивідуальне завдання, виконав усі модульні завдання з оцінкою «добре», має практичні навички роботи, але його відповіді не є чіткими.

2.2 Зменшення кількості балів в межах оцінки можливе при неповних відповідях на теоретичні або практичні запитання.

3. Задовільно (60÷74 бали) виставляється студенту:

3.1 Який в не впевнено володіє теоретичним матеріалом (з п. 1.1), вирішив задачу або практичне (лабораторне) завдання з грубими помилками, не відповів на деякі додаткові запитання.

3.2 Зменшення кількості балів в межах оцінки можливе за неточні та неповні відповіді на теоретичні та практичні запитання.

4. Незадовільно (1÷59 балів) виставляється студенту:

4.1 Який не володіє основними питаннями теоретичної частини (з п. 1.1), не розв'язав задачу та не виконав практичне (лабораторне) завдання, не відповів на більшість додаткових запитань.

4.2 Зменшення кількості балів в межах оцінки можливе за грубі помилки при відповідях на запитання

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит	Залік
90 – 100	відмінно	зараховано
75 – 89	добре	
60 -74	задовільно	
0 – 59	незадовільно	незараховано

13. Методичне забезпечення

1. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування автономних навігаційних систем» 2021 р.

2. Слайди з презентаціями лекційних матеріалів з дисципліни «Проектування автономних навігаційних систем» 2021 р.

3. Методичні вказівки і завдання до виконання практичних робіт з дисципліни «Проектування автономних навігаційних систем» 2021 р.

Все методичне забезпечення в електронному вигляді розміщене на хмарному сховищі і відкрито для всіх користувачів. Автор розробок – доцент каф. 301 Паршин А.П. Посилання для ознайомлення і скачування:

<https://drive.google.com/drive/folders/1jcwMcmrIaVviCo78M36gzqu9ukt7XDlq>

14. Рекомендована література

Базова

1. Матвеев В.В. Инерциальные навигационные системы: Учебное пособие. Изд-во ТулГУ, 2012.-199с.
2. Степанов О.А. Методы обработки навигационной измерительной информации. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 196 с
3. Успенский В.Б. Математические основы инерциальной навигации: учеб. пособие/ В.Б. Успенский, О.А. Татарина. – Х.: Изд-во «Підручник НТУ «ХП», 2017. – 192с.
4. Мелешко В.В., Нестеренко О.И. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы. Учебное пособие. – Кировоград: ПОЛИМЕД-Сервис, 2011. – 172 с.
5. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. - СПб: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009 – 280с.
6. Sveinsson A. INS/GPS Error Analysis and Integration: M.Sc. research thesis. School of Science and Engineering at Reykjavik University, 2012. 114 p.

Допоміжна

7. Пронькин А. Н., Кузнецов И. М., Веремеенко К. К. Интегрированная навигационная система БПЛА: структура и исследование характеристик. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 41, с.1-13.
8. Прохорцов А.В. Способы определения параметров ориентации с помощью спутниковых навигационных систем: монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. 80 с.
9. Прохорцов А.В. Методы определения параметров ориентации подвижных объектов по сигналам спутниковых радионавигационных систем. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. С. 258 –267.
10. Савельев В.В., Богданов М.Б., Прохорцов А.В., Смирнов В.А. Математическая модель приемной аппаратуры спутниковой навигационной системы, входящей в состав сильносвязанной интегрированной системы ориентации и навигации. Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. Вып. 5 с. 171-182.
11. S.O.H. Madgwick Anefficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays, 2010. – 32 p.
12. Емельянцев, Г. И. Интегрированные инерциально-спутниковые системы ориентации и навигации [Текст]/ Г.И. Емельянцев, А.П. Степанов ; под общ. ред. В.Г. Пешехонова; ОАО "Концерн "Центр. науч.-исслед. ин-т "Электроприбор"- СПб.: Концерн "ЦНИИ Электроприбор", 2016- 393 с.
13. Сарайский, Ю. Н. Аэронавигация [Текст]: учеб. пособие / Ю.Н. Сарайский, И.И. Алешков; С.-Петерб. гос. ун-т гражд. авиации. - 3-е изд., испр. - СПб.: Ун-т ГА, Ч. 1: Основы навигации. - 2016. - 104 с.
14. Паршин А.П., Немшилов Ю.А. Разработка измерительного блока системы ориентации БПЛА с неортогональным расположением чув-

ствительных элементов // Современная техника и технологии. 2016. № 3 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2016/03/9697> (дата обращения: 09.03.2016).

15. Паршин А.П. Моделирование отказоустойчивого канала ориентации бесплатформенной навигационной системы в среде MATLAB SIMULINK / Вісник НТУ «ХП». Серія: «Інформатика і моделювання» - Харків: НТУ «ХП». - 2020 р., № 3 - С. 21-29.

16. Исследование бесплатформенной инерциальной навигационной системы с неортогональным расположением чувствительных элементов [Текст] / «Современные научные исследования и инновации» 2020, № 4, [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2020/04/91917> (дата обращения: 11.04.2020).

17. Розробка і дослідження БІНС з неортогональним розташуванням вимірювачів [Текст] / Міжнародний журнал «ІНТЕРНАУКА» Збірник наукових праць № 5 (105), том 1, Київ, 2021 р. – С. 59-66.

15. Інформаційні ресурси

18. http://www.x-io.co.uk/res/doc/madgwick_internal_report.pdf. Sebastian O.H. Madgwick Anefficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays. 2010.

19. http://www.x-io.co.uk/res/doc/madgwick_internal_report.pdf. Sebastian O.H. Madgwick Anefficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays. 2010.

20. <https://pypi.org/project/e-drone/>

21. <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>.

22. http://innosfera.by/2017/02/Comparative_analysis

Сайт кафедри 301: k301.khai.edu.