

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

«28» серпня 2021 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

АВТОНОМНІ НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ

(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.

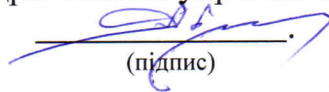
Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти:

перший (бакалаврський)

Харків 2021

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

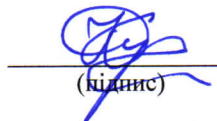


(підпис)

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 – 4	Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації».	Обов’язкова	
Кількість модулів – 3		Навчальний рік:	
Кількість змістових модулів – 3			
Індивідуальні завдання:	Спеціальності: 173 «Авіоніка»,	2021/2022	
		Семестр	
		7-й	8-й
Загальна кількість годин денна 64/120	Освітні програми: Системи автономної навігації та адаптивного управління літальних апаратів.	Лекції	
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних - 4 самостійної роботи студента –3,5		Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський).	-
	Практичні		
	-		16 год
	Лабораторні		
	-		16 год
	Самостійна робота		
	-		56 год.
	Вид контролю		
	-	іспит	

Примітка: Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить: для денної форми навчання – 64/56.

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. Основи інерціальної навігації.

Змістовий модуль 1. Кінематичні рівняння орієнтації.

Тема 1. Основи інерціальної навігації.

Фігура Землі. Системи координат. Гравітаційне поле і поле сили тяжіння Землі. Магнітне поле Землі. Основне рівняння навігації. Узагальнена схема інерціальної навігаційної системи (ІНС). Принцип роботи безплатформової ІНС. Функціональна схема БІНС. Формальний опис алгоритму БІНС.

Тема 2. Кінематичні рівняння орієнтації.

Визначення кутів орієнтації відносно центру мас БПЛА. Рівняння орієнтації Ейлера. Рівняння орієнтації Пуассона. Кватерніони. Рівняння орієнтації з параметрами Родріга-Гамільтона. Рівняння в параметрах вектора орієнтації. Комплексування блоку системи орієнтації БПЛА. Моделювання блоку системи орієнтації БПЛА в середовищі Matlab Simulink.

Змістовий модуль 2. Алгоритми БІНС.

Тема 3. Алгоритми БІНС

БІНС в інерціальній системі координат. БІНС в географічному супроводжує базисі з узагальненими рівняннями Пуассона. БІНС з рівнянням в параметрах Родріга-Гамільтона. БІНС з вектором орієнтації. Методи і алгоритми обчислень. Надмірність вимірювань.

Тема 4. Особливості побудови БІНС на МЕМС датчиках.

Особливості побудови БІНС на МЕМС датчиках. Способи об'єднання показань МЕМС гіроскопів і акселерометрів. Комплементарний фільтр. Фільтр Маджвіка. Фільтр Калмана. Фільтр Махони. Матриця переходу з зв'язкової системи координат в навігаційну систему координат.

Змістовий модуль 3. Моделювання БІНС.

Тема 5. Моделювання БІНС.

Моделювання БІНС в середовищі Matlab Simulink.

Тема 6. Перспективні інерціальні системи автономної навігації

Мікросистеми авіоніки. Оптична система орієнтації. Пірометричні системи орієнтації. Магнітометричні системи орієнтації.

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. Основи інерціальної навігації.					
Змістовий модуль 1. Кінематичні рівняння орієнтації.					
Тема 1. Основи інерціальної навігації.	3	1	-	-	2
Тема 2. Кінематичні рівняння орієнтації.	10	1	2	2	5
Модульний контроль	2				2
Разом за змістовим модулем 1	50	12	6	12	20
Модуль 2.					
Змістовий модуль 2. Алгоритми БІНС.					
Тема 3. Алгоритми БІНС	11	2	2	4	3
Тема 4. Особливості побудови БІНС на МЕМС датчиках.	11	2	2	4	3
Модульний контроль	4				
Разом за змістовим модулем 2	59	10	6	12	27
Модуль 3. Моделювання БІНС.					
Змістовий модуль 3. Моделювання БІНС					
Тема 5. Моделювання БІНС в середовищі Matlab Simulink	10	2			8
Тема 6. Перспективні інерціальні системи автономної навігації	9	4	2		3
Модульний контроль	4				
Разом за змістовим модулем 3	56	10	4	8	30
Усього годин	120	32	16	16	56

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. Кінематичні рівняння орієнтації.		
1	Розробка моделі блоку системи орієнтації з кутами Ейлера-Крилова в середовищі Matlab/Simulink.	4
2	Розробка моделі блоку системи орієнтації з направляючими косинусами в середовищі Matlab/Simulink	4
3	Розробка моделі блоку системи орієнтації з кватерніонами в середовищі Matlab/Simulink.	4
	Разом за модулем 1	12
Модуль 3. Моделювання БІНС.		
4	Розробка моделі безплатформової навігаційної системи.	4
	Разом за модулем 2	4
	Разом	16

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Модуль 1. Кінематичні рівняння орієнтації.		
1	Дослідження алгоритмів блоку системи орієнтації	4
2	Дослідження алгоритмів чисельного рішення кінематичних рівнянь орієнтації на основі методів Рунге-Кутта	4
3	Дослідження алгоритмів чисельного рішення кінематичних рівнянь орієнтації на основі методів Пікара	4
	Разом за модулем 1	12
Модуль 3. Моделювання БІНС		
8	Моделювання безплатформеної навігаційної системи (БІНС)	4
	Разом за модулем 3	4
	Разом	16

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Модуль 1. Кінематичні рівняння орієнтації.		
1	Вступ до навчальної дисципліни «Автономні навігаційні системи». Основи інерціальної навігації.	1
2	Фігура Землі. Системи координат. Гравітаційне поле і	3

	поле сили тяжіння Землі. Магнітне поле Землі.	
3	Основне рівняння навігації. Узагальнена схема інерціальної навігаційної системи (ІНС).	2
4	Принцип роботи безплатформової ІНС.	4
5	Функціональна схема БІНС. Формальний опис алгоритму БІНС.	2
5	Визначення кутів орієнтації відносно центру мас БПЛА. Рівняння орієнтації Ейлера.	2
6	Кінематичні рівняння орієнтації. Рівняння орієнтації Пуассона	2
7	Кватерніони. Рівняння орієнтації з параметрами Родріга-Гамільтона.	4
8	Рівняння в параметрах вектора орієнтації. Комплексування блоку системи орієнтації БПЛА.	2
	Разом за модулем 1	22
Модуль 2. Алгоритми БІНС.		
9	БІНС в інерціальній системі координат.	4
10	БІНС в географічному супроводжує базисі з узагальненими рівняннями Пуассона.	4
11	БІНС з рівнянням в параметрах Родріга-Гамільтона.	4
12	БІНС з вектором орієнтації.	4
13	Методи і алгоритми обчислень. Надмірність вимірювань.	6
	Разом за модулем 2	22
Модуль 3. Моделювання БІНС.		
14	Моделювання БІНС в середовищі Matlab Simulink.	7
15	Перспективні інерціальної системи автономної навігації.	1
16	Мікросистеми авіоніки. Оптична система орієнтації	2
17	Пірометричні системи орієнтації. Магнітометричні системи орієнтації.	2
	Разом за модулем 3	12
	Разом	56

9. Індивідуальні завдання

Не передбачено.

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

8 семестр

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...2	6	0...12
Виконання і захист лабораторних робіт	2...8	3	6...24
Виконання і захист практичних робіт	2...8	3	6...24
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...2	5	0...10
Змістовний модуль 3			
Робота на лекціях	0...2	5	0...10
Виконання і захист лабораторних робіт	2...8	1	2...8
Виконання і захист практичних робіт	2...8	1	2...8
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 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.

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, працювати з: обладнанням та засобами вимірювання, які застосовуються при проведенні лабораторних та 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**: 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 рівняннями в параметрах Родріга-Гамільтона і з вектором орієнтації, методи і алгоритми обчислень, способи об'єднання показань МЕМС гіроскопів і акселерометрів за допомогою комплементарного фільтра, фільтра Маджвіка, Калмана, Махони, принципи формування матриці переходу з зв'язкової системи координат в навігаційну систему координат.

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, 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 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 «Автономні навігаційні системи» 2021 р.
2. Слайди з презентаціями лекційних матеріалів з дисципліни «Автономні навігаційні системи» 2021 р.
3. Методичні вказівки і завдання до виконання практичних робіт з дисципліни «Автономні навігаційні системи» 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/1jcwMcmrIaVviCo78M36gzqu9uk7XDlq>

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.
4. Матвеев В.В, Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. - СПб: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009 – 280с.
5. Sveinsson A. INS/GPS Error Analysis and Integration : M.Sc. research thesis. School of Science and Engineering at Reykjavik University, 2012. 114 p

Допоміжна

. 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.

2. Прохорцов А.В. Способы определения параметров ориентации с помощью спутниковых навигационных систем: монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. 80 с.

3. 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.

4. 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.

15. Інформаційні ресурси

1. 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.

2. S.O.H. Madgwick An affcient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays, 2010. – 32 p.

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

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

Сайт кафедри 301: k301.khai.edu.