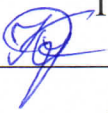


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра систем управління літальних апаратів (№ 301)

ЗАТВЕРДЖУЮ

 Гарант освітньої програми
Костянтин ДЕРГАЧОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«26»  2024 р.

**СИЛАБУС ОBOB'ЯЗKОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Основи побудови автономних навігаційних систем

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 17 «Електроніка та телекомунікації»

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 173 «Авіоніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма: «Системи автономної навігації та адаптивного управління літальних апаратів»

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)


Вводиться в дію з «01» вересня 2024 р.

Харків 2024

Розробник: доцент, PhD Дмитро СОКОЛ 
(посада, науковий ступінь і вчене звання, ім'я та прізвище) (підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри (№ 301) систем управління літальних апаратів _____
(назва кафедри)

Протокол № 1 від «26» серпня 2024 р.

Завідувач кафедри к.т.н., доцент  Костянтин ДЕРГАЧОВ
(науковий ступінь і вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

_____ (підпис) _____ (ім'я та прізвище)

Загальна інформація про викладача



ПІБ: Сокол Дмитро Вадимович

Посада: доцент кафедри систем управління літальних апаратів

Науковий ступінь: PhD

Перелік дисциплін, які викладає:

- Навігаційні прилади авіаційного транспорту;
- Основи побудови автономних навігаційних систем;
- Розробка цифрових систем управління;
- Проектування автономних навігаційних систем.

Напрями наукових досліджень:

- автоматичне управління;
 - раціональне управління;
 - модельно-орієнтоване проектування.
-

1. Опис навчальної дисципліни

Форма навчання – денна та заочна.

Семестр, в якому викладається дисципліна – 7.

Дисципліна обов'язкова.

Загальна кількість годин за навчальним планом – 105 годин / 3,5 кредити ЄКТС. 48 годин аудиторної та 57 самостійної роботи здобувачів.

Види занять – лекції, лабораторні роботи.

Вид контролю – поточний, модульний та підсумковий (семестровий) контроль (іспит).

Мова викладання – українська.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: засвоєння здобувачами основних принципів апаратної побудови та алгоритмічного забезпечення автономних навігаційних систем, побудованих на базі безплатформних інерціальних навігаційних систем (БНС).

Завдання: формування у здобувачів фахових знань із теоретичних основ побудови БНС і практичних навичок з розробки і аналізу алгоритмів фільтрації сигналів та роз-рахунку навігаційних параметрів рухомих об'єктів, комплексування вимірювачів БНС, забезпечення відмовостійкості БНС та реконфігурації апаратних засобів.

Компетентності, які набуваються:

Загальні:

ЗК 1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації.

ЗК 4. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

Фахові:

ФК4. Здатність до аналізу та синтезу систем керування літальних апаратів.

ФК5. Здатність розробляти авіоніку літальних апаратів та системи наземних комплексів із використанням інформаційних технологій.

ФК6. Здатність математично описувати і моделювати фізичні процеси в системах керування літальних апаратів.

ФК7. Здатність проектувати прилади та системи авіоніки із використанням автоматизованих систем.

ФК9. Здатність оцінювати технічні і економічні характеристики систем та пристроїв авіоніки.

ФК10. Здатність обґрунтовувати прийняті рішення, ефективно працювати автономно та у складі колективу.

Очікувані результати навчання:

ПРН1. Адаптуватися до змін технологій професійної діяльності, прогнозувати їх вплив на кінцевий результат.

ПРН2. Автономно отримувати нові знання в своїй предметній та суміжних областях з різних джерел для ефективного розв'язання спеціалізованих задач професійної діяльності.

ПРН3. Відповідально та кваліфіковано ставити та вирішувати задачі, пов'язані зі створенням приладів і систем авіоніки.

ПРН4. Розуміти стан і перспективи розвитку предметної області.

ПРН5. Організовувати власну професійну діяльність, обирати оптимальні методи та способи розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем у професійній діяльності.

ПРН6. Критично осмислювати основні теорії, принципи, методи і поняття у професійній діяльності.

ПРН11. Розробляти технічні вимоги до систем та пристроїв авіоніки; здійснювати проектування систем та пристроїв авіоніки з урахуванням вимог замовника та нормативно-технічної документації.

ПРН14. Застосовувати сучасні інформаційні технології для забезпечення функціонування літальних апаратів та наземних комплексів.

ПРН15. Розробляти математичні моделі літальних апаратів як об'єктів керування.

ПРН16. Вміти описувати інформаційні процеси, пов'язані з авіонікою, аналізувати їх відмовостійкість.

ПРН17. Вміти створювати радіоелектронну апаратуру та прилади літальних апаратів і наземних комплексів із використанням систем автоматизованого проектування

ПРН19. Оцінювати технічні і економічні характеристики прийнятих рішень для забезпечення ефективності та високої якості розробок.

Пререквізити: Вища математика: диференціальне та інтегральне числення; дії з комплексними числами в алгебраїчній та показовій формі; дослідження функцій. Основи навігації. Теорія автоматичного управління. Інформаційно-вимірювальні пристрої авіоніки. Системи управління літальними апаратами (6-й семестр).

Кореквізити: Проектування систем управління (7-й семестр). Системи управління літальними апаратами (7-й семестр).

Постреквізити: Проектування систем управління (8-й семестр). Кваліфікаційна робота бакалавра.

3. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовий модуль 1. Завдання інерціальної навігації.

Тема 1. Формалізація завдань інерційної навігації та визначення орієнтації.

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження – 6 год.

Обов'язкове обладнання – комп'ютер.

Стисла анотація. Результати розробок інерціальних навігаційних систем (за матеріалами закордонної літератури). Формалізація завдань інерційної навігації.

Формалізація завдання визначення орієнтації.

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 7 год.

Види робіт, що належать до самостійної роботи здобувача – опрацювання матеріалу лекцій, формування питань до викладача.

Тема 2. Методи інтегрування кінематичних та навігаційних рівнянь БІНС.

Форма занять: лекція, лабораторні заняття, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження – 8 год.

Тема лабораторних занять: математичні моделі та методи дослідження систем автономної орієнтації та навігації. рішення рівнянь і систем рівнянь; обчислення інтегралів і рішення диференціальних рівнянь, що описують канал орієнтації ЛА, канал навігації.

Обов'язкове обладнання – комп'ютер.

Стисла анотація. Особливості здійснення чисельного інтегрування рівнянь орієнтації. Метод інтегрування кінематичних рівнянь. Метод інтегрування навігаційних рівнянь. Функціональні схеми БІНС. Формальний опис алгоритму БІНС. Характеристика особливостей реалізації навігаційних обчислень у БІНС. Алгоритми розв'язування систем диференціальних рівнянь. Розв'язування задачі орієнтації. Алгоритми методу Пікара для рівняння Пуассона. Алгоритми методу Пікара для рівняння у кватерніонах.

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 8 год.

Види робіт, що належать до самостійної роботи здобувача – опрацювання матеріалу лекцій, формування питань до викладача.

Тема 3. Алгоритми корекції вектора стану БІНС.

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження – 8 год.

Обов'язкове обладнання – комп'ютер.

Стисла анотація. Корекція вертикального каналу БІНС, застосування фільтра Калмана. Корекція кватерніону орієнтації БІНС. Корекція БІНС за сигналом нульової швидкості. Схема корекції БІНС шляхом демпфірування Шулеровських коливань похибок навігації.

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 8 год.

Види робіт, що належать до самостійної роботи здобувача – опрацювання матеріалу лекцій, формування питань до викладача.

Модульний контроль.

Форма занять: написання модульної роботи в аудиторії (за рішенням лектора допускається проведення у дистанційній формі).

Обсяг аудиторного навантаження – 2 год.

Обов'язкові предмети та засоби – відсутні.

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 5 год. Підготовка до модульного контролю.

Модуль 2.

Змістовий модуль 1. Завдання початкової виставки БІНС.

Тема 4. Початкова виставка БІНС.

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження – 8 год.

Обов'язкове обладнання – комп'ютер.

Стисла анотація. Загальні відомості. Подання вимірювань датчиків та постановка задачі виставки. Вирішення завдань горизонтування та гірокомпасування для БІНС на нерухомій підставі. Алгоритм горизонтування. Алгоритм гірокомпасування.

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 8 год.

Види робіт, що належать до самостійної роботи здобувача – опрацювання матеріалу лекцій, формування питань до викладача.

Тема 5. Моделі помилок гірокомпасування.

Форма занять: лекція, лабораторні заняття, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження – 8 год.

Тема лабораторних занять: математичні моделі та методи дослідження похибок систем гірокомпасування.

Обов'язкове обладнання – комп'ютер.

Стисла анотація. Загальні відомості. Вплив систематичної та шумової складової помилки гіроскопів на оцінку курсу. Дійсна похибка гірокомпасування. Гарантована оцінка точності гірокомпасування. Вплив помилок квантування інформації гіроскопів на оцінку курсу. Рівняння похибок орієнтації, обумовлені похибками вимірювання кутової швидкості. Похибки алгоритмів визначення орієнтації.

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 8 год.

Види робіт, що належать до самостійної роботи здобувача – опрацювання матеріалу лекцій, формування питань до викладача.

Тема 6. Способи підвищення точності гірокомпасування.

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження – 6 год.

Обов'язкове обладнання – комп'ютер.

Стисла анотація. Оцінка дрейфу бічних гіроскопів у процесі гірокомпасування; метод подвійного гірокомпасування; динамічний гірокомпас; вплив режиму "Виставка" на точність гірокомпасу; загальна схема режиму "Виставка" на рухомому підставі з використанням супутникової інформації. Схема комплексування даних інерціальної і супутникової інформації.

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 8 год.

Види робіт, що належать до самостійної роботи здобувача – опрацювання матеріалу лекцій, формування питань до викладача.

Модульний контроль.

Форма занять: написання модульної роботи в аудиторії (за рішенням лектора допускається проведення у дистанційній формі).

Обсяг аудиторного навантаження – 2 год.

Обов'язкові предмети та засоби – відсутні.

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 5 год. Підготовка до модульного контролю.

4. Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання не передбачені.

5. Методи навчання

Словесні: лекції, навчальна дискусія.

Практичні: лабораторні та індивідуальні консультації.

6. Методи контролю

Поточний контроль – відповідно до змістових модулів і тем у вигляді письмового опитування; усного опитування; тестування, захисту лабораторних робіт.

Підсумковий (семестровий) контроль – у вигляді письмового іспиту.

7. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

7.1. Розподіл балів, які отримують здобувачі (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Виконання і захист лабораторних робіт	0...15	2	0...30
Модульний контроль	0...20	1	0...20
Змістовний модуль 2			
Виконання і захист лабораторних робіт	0...15	2	0...30
Модульний контроль	0...20	1	0...20
Усього за семестр 7			0...100

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

Білет для іспиту складається з одного теоретичного питання (30 балів), одного практичного питання (30 балів) та одного лабораторного завдання, яке необхідно виконати на комп'ютері (40 балів).

7.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для отримання позитивної оцінки: основні принципи роботи автономних навігаційних систем, включаючи інерційні, супутникові та комбіновані системи, структура та функціонування інерційних вимірювальних блоків (акселерометри, гіроскопи) та методи обробки сигналів від них, основи фільтрації та злиття даних у системах навігації, принципи роботи глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) та їх взаємодія з іншими навігаційними підсистемами, методи підвищення точності та стійкості навігаційних рішень в умовах зовнішніх збурень та обмеженої видимості супутників, основи алгоритмів та методів автономної навігації в умовах відсутності зовнішніх орієнтирів, сучасні підходи до інтеграції навігаційних систем до бортових систем управління.

Необхідний обсяг умінь для отримання позитивної оцінки: аналіз структури та проектування алгоритмів роботи автономних навігаційних систем, реалізація алгоритмів навігації з використанням фільтрації даних та злиття сигналів від різних датчиків (акселерометри, гіроскопи, супутникові сигнали), проведення моделювання автономних навігаційних систем та аналіз їх роботи за допомогою сучасних інструментів комп'ютерного моделювання, оптимізація навігаційних рішень для підвищення точності та стійкості до зовнішніх збурень, застосування фільтрів Калмана та інших методів для корекції помилок в інерційних системах та комбінованих навігаційних рішеннях, оцінка та тестування роботи навігаційної системи у різних сценаріях з використанням імітаційних та фізичних стендів.

7.3 Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати базові знання автономних навігаційних систем, проте розуміння теорії обмежене простими концепціями. Виконувати всі роботи згідно силабусу, але насилу застосовувати знання на практиці. Припускатися помилок при моделюванні та розрахунках, мати недостатньо впевнені навички роботи з фільтрацією даних та злиттям сигналів. Впевнене виконання завдань можливе лише за умов мінімальних вимог, при цьому не демонструвати самостійний аналіз складних завдань. Зменшення балів можливе через помилки у вирішенні практичних завдань, неточні та неповні відповіді на теоретичні питання, а також за невпевнене володіння інструментами для моделювання автономних систем.

Добре (75-89). Мати гарні знання основ автономних навігаційних систем, впевнено справляється з аналізом роботи інерційних та супутникових систем, але допускати незначні помилки при виконанні розрахунків або моделюванні. Виконувати всі роботи згідно силабусу з оцінкою "добре". Вміти використовувати фільтрацію даних для вирішення типових завдань, але мати труднощі з більш складними сценаріями навігації або оптимізацією системи. Відповіді питання коректні, але можуть бути недостатньо повними чи деталізованими.

Зменшення балів можливе за неповні або нечіткі відповіді на запитання, а також за невеликі помилки при моделюванні та розрахунках.

Відмінно (90-100). Демонструвати глибокі знання теоретичних основ автономних навігаційних систем, впевнено володіти методами роботи з інерційними та супутниковими системами. Виконувати всі роботи згідно силабусу з оцінкою “відмінно”. Впевнено використовувати фільтрацію даних, такі як фільтр Калмана для підвищення точності навігації. Здатний як правильно спроектувати автономну систему навігації, а й оптимізувати її роботу у складних умовах, застосовуючи передові алгоритми і методи корекції помилок. Зменшення балів можливе через незначні помилки у додаткових питаннях чи неточності в описі теоретичних основ, які не впливають на загальні висновки.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

8. Політика навчального курсу

Відпрацювання пропущених занять відбувається відповідно до розкладу консультацій, за попереднім погодженням з викладачем. Питання, що стосуються академічної доброчесності, розглядає викладач або за процедурою, визначеною у Положенні про академічну доброчесність.

9. Методичне забезпечення

Субота, А. М., Пілотажно-навігаційні комплекси [Текст] : консп. лекцій / А. М. Субота, В. Г. Джулгаков, Д. В. Сокол. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. – 128 с.

Посилання на електронну версію конспекту лекцій:
<https://dspace.library.khai.edu/xmlui/handle/123456789/7714>

Посилання на НМКД дисципліни у системі дистанційного навчання Mentor:
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=8471>

10. Рекомендована література Базова

1. Синеглазов, В. М., Захарін, Ф. М. Теоретичні основи проектування інтегрованих навігаційних комплексів безпілотних літальних апаратів. – Київ: Освіта України. 2015. 340 с.
2. Белінський В. М., Єгоров С. Г., Левківський В. В. Автономні системи навігації повітряних суден. – 2018.

3. Шишков Ф. О. Автономна навігація сервісних космічних апаратів за сигналами глобальної навігаційної супутникової системи : дис. – Національний авіаційний університет, 2018.
4. Радзівілов Г. Д., Фесенко О. Д. Аналіз способів реалізації автономних систем навігації БПЛА //Збірник наукових праць [Військового інституту телекомунікацій та інформатизації]. – 2019. – №. 1. – С. 75-81.
5. Іванюк О. І. Модель та метод інформаційної технології навігації автономних мобільних систем в умовах невизначеності. – 2021.
6. Лазарєв, Ю. Ф., Бобровицька, Я. Г. Розроблення і моделювання алгоритмів безплатформної системи орієнтації / Ю. Ф. Лазарєв, Я. Г. Бобровицька // Електронний навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ» - 2011. – 135с.
7. Avtin I. V., Baburov V. I., Ponomarenko B. V., Shatrakov Yu .G. Principles of Integrated Airborne Avionics Springer, 2021. — 416 p. — (Springer Aerospace Technology). — ISBN 978-981-16-0896-4.
8. Dergachov K., Kulik A. Rational Adaptation of Control Systems for the Autonomous Aircraft Motion //Handbook of Research on Artificial Intelligence Applications in the Aviation and Aerospace Industries. – IGI Global, 2020. – С. 36-65.
9. Субота, А. М., Пілотажно-навігаційні комплекси [Текст] : консп. лекцій / А. М. Субота, В. Г. Джулгаков, Д. В. Сокол. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. – 128 с.

Допоміжна

1. Wang S. An Accurate GPS-IMU/DR Data Fusion Method for Driverless Car Based on a Set of Predictive Models and Grid Constraints. Sensors [Electronic resource] / S. Wang, Z. Deng, G. Yin // Basel, Switzerland: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. – 2016. – Vol. 16(3). – P. 280–293. DOI 10.3390/s16030280.
2. Королюк, Н. О. Процедура формалізації даних, які використовуються при описі процесу управління рухом повітряних об'єктів / Н. О. Королюк, Р. В. Корольов, О. А. Коршець // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4(53). – С. 103-110.
3. Умінський, В. В. Диференційна модель фільтра Калмана для локалізації автономного мобільного робота / В. В. Умінський //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Хмельницький. - 2014, № 1 (46). С. 33–36.
4. Фесенко, О. Д. Вдосконалений метод орієнтації літального апарата в тривимірному просторі за допомогою мікроелектромеханічних систем інерціальної системи навігації на основі фільтра Маджвіка / О. Д. Фесенко // Вчені записки ТНУ імені В.Т. Вернадського. Серія: технічні науки. Авіаційна та ракетно-космічна техніка Т. 29(68) ч. I, № 9, 2018 - С. 35-42.
5. Моделювання процесу стабілізації та керуваності безпілотного квадрокоптера у польоті / Б. Благітко, І. Заячук, Л. Кіт, Ю. Мочульський // Фізико-математичне

модельовання та інформаційні технології: наук. зб. / Центр мат. модельовання ін-ту приклад. пробл. механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України. – К., 2013. – Вип. 18. – С. 21-31.

6. Захарін, Ф. М. Комплексування курсо-повітряних датчиків і бортової апаратури супутникової навігації для малих безпілотних літальних апаратів / Ф. М. Захарін, С. О. Пономаренко, О. М. Сорокіна // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації: щоріч. наук.-теорет. та наук.-практ. зб. наук. пр. / М-во оборони України, Нац. авіац. ун-т, Держ. НДІ авіації. - К., 2015. - Вип. № 11 (18). – С. 65-73.

7. Паршин, А. П. Модельовання відмовостійкого каналу орієнтації безплатформової навігаційної системи в середовищі MATLAB SIMULINK / А. П. Паршин // Вісник НТУ «ХП». Серія: «Інформатика і модельовання» - Харків: НТУ «ХП». - 2020, № 3 – С. 30-39.

11. Інформаційні ресурси

1. Сайт кафедри: k301.khai.edu

2. Посилання на конспект лекцій:
<https://dspace.library.khai.edu/xmlui/handle/123456789/7714>