Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра
космічної інженерії

СИСТЕМИ ТА ПРИВОДИ РКА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	***Перший (бакалаврський)***
Галузь знань	*13 Механічна інженерія*
Спеціальність	*134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка*
Освітня програма	*Інженерія авіаційних та ракетно-космічних систем*
Статус дисципліни	*Нормативна*
Форма навчання	*очна(денна)*
Рік підготовки, семестр	*4 курс, весняний семестр*
Обсяг дисципліни	*120 годин/ 4 кредитів ECTS*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*залік*
Розклад занять	
Мова викладання	*Українська*
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: *ст.викладач ІАТ, к.т.н. Ларьков С.М. +380686082280* Практичні / Семінарські: Лабораторні: *ст.викладач ІАТ, к.т.н. Ларьков С.М. +380686082280*
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання

Предметом *вивчення дисципліни є теоретичні основи побудови, методи аналізу статичних та динамічних характеристик, способи розрахунку приводів систем керування літальними апаратами (ЛА).*

Об'єктом *вивчення є особливості конструкції, структура, динамічні властивості та характеристики типових приводів систем управління.*

Метою *дисципліни є вивчення:*

- принципів побудови та типової структури приводів систем управління;

- теоретичних основ функціонування електро-, гідро- та пневмоприводів у системах управління ЛА;

- статичних та динамічних та характеристик кермових машин та приводів.

Внаслідок вивчення дисципліни «Системи та приводи РКА» студент має:

Знати:

• класифікацію та загальні вимоги до приводів систем керування ЛА;

• основи теорії, принципи побудови та функціонування, особливості структурно-схемної реалізації та характеристики приводів ЛА;

• вплив характеристик приводів на динамічні та точнісні властивості ЛА.

Вміти:

• математично описувати моделі різних приводів ЛА;

• досліджувати та аналізувати статичні та динамічні характеристики приводів систем управління.

Мати уявлення:

• про конструкцію та технічну реалізацію елементів приводів систем управління ЛА;
• перспективи розвитку приводів ЛА.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна «Системи та приводи РКА» базується на знанні таких дисциплін:
Вища математика, Фізика, Теоретична механіка, Електротехніка, Електроніка та основи схемотехніки, ТАУ

3. Зміст навчальної дисципліни

№ теми	Назва
1.	Загальні уявлення щодо виконавчих пристроїв та приводів РКА
2.	Особливості та моделювання реальних приводів
3.	Електричний рульовий привод
3.1.	Класифікація авіаційних електричних машин. Джерела живлення електричним струмом
3.2.	Привод на двигунах постійного струму
3.3.	Асинхронний та синхронний електропривод. УКД
3.4.	Шагові двигуни
3.5.	Безколекторні двигуни постійного току. Вентильний електропривод
3.6.	Електромагнітні муфти в приводах ЛА
4.	Гідравлічний та пневматичний рульовий привод
4.1.	Джерела енергії, підсилювачі та розподільники
4.2.	Електромеханічні перетворювачі та датчики зворотного зв'язку
4.3.	Електрогідравлічний рульовий привод
4.4.	Рівняння руху, передавальні функції та математичне моделювання електрогідравлічного приводу
4.5.	Особливості пневматичного рульового приводу
5.	Виконавчі пристрої та приводи КА.
5.1.	Реактивні системи руху/орієнтації
5.2.	Маховичні пристрої та гіродіни
5.3.	Магнітні заспокоювачі та магнітовиконавчі пристрої
5.4.	Механічні та піротехнічні приводи разової дії
6.	Основні напрямки розвитку мехатроніки

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Гониодский В.И., Склянский Ф.И., Шумилов И.С. Приводы рулевых поверхностей самолетов. – М.: Машиностроение, 1974. – 317 с.

2. Мелкозеров П.С. Приводы в системах автоматического управления. – М.: Энергия, 1966. – 388 с.

3. Электропривод систем управления летательных аппаратов / Под ред..

Петрова В.И. – М.: Машиностроение, 1973. – 360с.

4. Москаленко В.В. Электрический привод / Учеб. для электротехнич. спец. вузов. - М.: Высшая школа, 1991. - 429 с.

5. Полковников В.А. Электропривод летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1990. – 385 с.

6. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление элетроприводами. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.

7. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления / Уч. пособие для авиационных вузов и факультетов. - М.: Машиностроение, 1972. - 376 с.

8. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1967. – 462 с.

9. Хохлов В.А. Электрогидравлический следящий привод. – М.: Наука, 1964. – 231 с.

10. Айзенберг Я.Е., Суббота А.М. Исполнительные механизмы и приводы / Учебное пособие для студентов вечернего отделения. – Х.: ХАИ, 1976. – 69 с.

11. Фірсов С.М. Експериментальне дослідження статичних і динамічних характеристик рульових машин и сервоприводів систем управління. - Х.: ХАИ, 2007. – 100 с.

12. Пневмопривод систем управления летательных аппаратов / В.А. Чащин, О.Г. Камладзе, А.Б. Кондратьев и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 248 с.

13. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмосистем / Учеб. для вузов. – М.: Машиностроение, 1991. – 282 с.

14. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем / Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 464 с.

Додаткова та справочна

15. Кулесский Р.А., Шубенко В.А. Электроприводы постоянного тока с цифровым управлением. - М.: Энергия, 1973. - 207 с.

16. Полковников В.А. Электрические, гидравлические и пневматические приводы летательных аппаратов и их предельные динамические возможности. – М.: МАИ, 2002. – 341 с.

17. Электромеханические преобразователи гидравлических и газовых приводов Е.М. Решетников, Ю.А. Саблин, В.Е. Григорьев и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 145 с.

18. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Кредитний модуль розраховано на один семестр. Він складається з лекцій та лабораторних практикумів.

В лекційній частині курсу описуються принципи побудови приводів рульових поверхонь літальних апаратів, студенти вивчають сучасну технологію моделювання динамічних характеристик рульових приводів літальних апаратів. Виконання лабораторних практикумів повинно допомогти студентам більш глибоко засвоїти теоретичний матеріал.

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
	ТЕМА 1. Узагальнені поняття про виконавчі пристрої систем управління ЛА
1.	**Лекція 1. Вступ** Предмет, структура та задачі курсу «Системи та приводи РКА». Узагальнені уявлення щодо систем управління ЛА та їх виконавчих пристроїв. Короткий історичний огляд розвитку приводів ЛА.
2.	**Лекція 2. Узагальнені поняття про виконавчі пристрої систем управління ЛА** Класифікація типів приводів РКА, переваги та недоліки, сфери застосування. Вимоги до рульових приводів від системи управління, вхідні та вихідні характеристики. Загальне поняття про моделювання рульових приводів.
	ТЕМА 2: Особливості та моделювання реальних приводів
3.	**Лекція 3. Особливості реальних приводів** Типи нелінійності приводів та їх основні джерела. Вплив нелінійностей на передавальні характеристики приводу та системи управління в цілому. Врахування та компенсація нелінійних збурень в мехатронних системах. Поняття про інтелектуальні мехатронні системи, роль математичного моделювання в їх побудові.
4.	**Лекція 4. Моделювання приводів в середі MatLab/Simulink** Основні поняття про середу MatLab/Simulink. Типи математичних моделей та приклади їх реалізації. Типова структура побудови та верифікації математичної моделі. Уявлення про цифрові фільтри. Фільтр Калмана.
	ТЕМА 3: Електричний рульовий привод
5.	**Лекція 5. Загальні відомості про ЕРП** Загальна класифікація авіаційних електричних машин. Джерела живлення електричним струмом. Соленоїди та електромагніти, їх характеристики та використання.
6.	**Лекція 6. Електропривод постійного струму** Двигуни постійного току, типи, конструкція та основні характеристики. Регулювання ДПТ, приклади використання для побудови рульових приводів.
7.	***Лекція 7.*** **Електропривод змінного струму** Асинхронні та синхронні електричні машини. Принцип дії,

	конструкція та основні характеристики. Універсальний колекторний двигун. Методи регулювання, приклади використання.
8.	***Лекція 8.*** **Приводи з електромагнітними муфтами** Призначення та класифікація муфт. Принципи дії та приклади конструкції муфт, коробок передач та варіаторів. Електричне управління муфтами, типова структура приводу з електромагнітним включенням.
9.	***Лекція 9.*** **Крокові та безколекторні двигуни** Крокові двигуни як спеціальні типи синхронних двигунів: принцип функціонування, приклади конструкції. Електромеханічні характеристики та принципи регулювання, приклади побудови приводів з кроковими двигунами. Безколекторні двигуни: принцип роботи, типова конструкція та електромеханічні характеристики.
10.	***Лекція 10.*** **Вентильний електропривод** Принципи управління BLDC, узагальнена структура та типова реалізація вентильного електроприводу. Типові функціональні блоки, датчики та пристрої. Використання фільтру Калману для спостерігання за невимірюваними параметрами.
ТЕМА 4: Гідравлічний та пневматичний привод	
11.	**Лекція 11. Загальні уявлення про гідравлічний та пневматичний привод** Сфера застосування, переваги та недоліки. Типова структура гідравлічного приводу, типові функціональні пристрої, їх конструкція. Вхідні, передаточні та вихідні характеристики типових пристроїв гідравліки. Електрогідравлічна аналогія.
12.	**Лекція 12. Типові елементи гідроприводу** Джерела рідини високого тиску: гідронасоси та гідроакумулятори. Принцип роботи та конструкція розподільників та гідропідсилювачів.
13.	**Лекція 13. Електромеханічні перетворювачі та датчики зворотнього зв'язку** Роль електромеханічних перетворювачів в електрогідравлічному рульовому приводу. Принцип роботи, приклади конструктивного виконання.
14.	**Лекція 14. Електрогідравлічний рульовий привод** Рівняння руху та передавальні характеристики електрогідравлічного рульового приводу.
15.	**Лекція 15. Пневматичний рульовий привод** Особливості побудови, конструктивної реалізації та характеристики пневматичного приводу. Переваги та недоліки пневматичних приводів. Основні структурні елементи пневматичних та пневмонічних систем.
ТЕМА 5: Виконавчі пристрої ракет та космічних апаратів	
16.	**Лекція 16. Виконавчі пристрої систем орієнтації** Ролі та задачі систем управління космічними об'єктами. Класифікація виконавчих пристроїв системи орієнтації. Монопаливні та газореактивні системи руху/орієнтації: типова

	побудова, основні конструктивні елементи, їх характеристики. Сфера застосування та приклади побудови. Основні структурні елементи.
17.	**Лекція 17. Виконавчі пристрої космічних апаратів** Маховики та гіродіни для управління орієнтацією КА, приклади виконання. Приводи разової дії з механічним/піротехнічним джерелом енергії. ***ТЕМА 6: Основні напрямки розвитку мехатроніки:*** Перспективні напрями та тенденції розвитку мехатронічних систем. Підвищення обчислювальної потужності та зростання ролі адаптивних та моделюючих САУ для управління об'єктами реального світу.

Лабораторний практикум

№	Назва	Кількість ауд.годин
1.	Ознайомлення з системою управління літаків Ан-24 та МіГ-23	2
2.	Ознайомлення з системою управління та автопілотом ракети В-750	2
3.	Ознайомлення з принципами побудови ЕРП на прикладах системи управління тримером елеронів АН-24 та ЕРП ПТКР	2
4.	Ознайомлення з конструкцією авіамодельного сервоприводу	2
5.	Синтез та програмування моделі ЕРП з двигуном постійного струму	2
6.	Ознайомлення з середою MatLab/Simulink	2
7.	Опрацювання феноменологічного підходу до моделювання приводів РКА	2
8.	Ознайомлення з схемотехнічними рішеннями стежувальної системи з двигуном постійного струму	2
9.	Визначення калібрувальної характеристики потенціометричного датчику зворотнього зв'язку сервоприводу	2
10.	Вимірювання основних характеристик ДПТ з збудженням від постійних магнітів	2
11.	Визначення АФЧХ сервоприводу	2
12.	Дослідження роботи сервоприводу з управлінням струмом ДПТ за допомогою ШІМ	2
13.	Побудова матмоделі авіамодельного сервоприводу	2
14.	Ідентифікація матмоделі авіамодельного сервоприводу	2
15.	Ознайомлення з двигуном BLDC та системою векторного управління тяговим двигуном квадрокоптеру	2
16.	Моделювання дросельної характеристики рушійної системи	2

	квадрокоптеру	

6. Самостійна робота здобувача вищої освіти

Зазначаються види самостійної роботи (підготовка до аудиторних занять, проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях, розв'язок задач, написання реферату, виконання розрахункової роботи, виконання домашньої контрольної роботи тощо) та терміни часу, які на це відводяться.

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1.	Підготовка до л.р.№1 - ознайомлення з принципами побудови гідравлічних систем по [6]	4
2.	Підготовка до л.р.№2 - ознайомлення з принципами побудови пневматичних систем по [12]	4
3.	Вивчення принципів цифрового керування вентильного електроприводу. Опрацювання схемотехнічних принципів векторного управління	20
4.	Підготовка та виконання контрольної роботи	8

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед здобувачем:

- *правила відвідування занять (як лекцій, так і практичних/лабораторних);*
- *правила поведінки на заняттях (активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення телефонів, використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача чи в інтернеті тощо);*
- *правила захисту лабораторних робіт;*
- *правила захисту індивідуальних завдань;*
- *правила призначення заохочувальних та штрафних балів;*
- *політика дедлайнів та перескладань;*
- *політика щодо академічної доброчесності;*
- *інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам Університету.*

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

В процесі вивчання дисципліни студенти виконують контрольну роботу тривалістю 1 навчальні години. Метою виконання контрольної роботи є контроль ступеню засвоєння студентами теоретичних знань, отриманих під час викладання лекційного матеріалу..

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за наступне:

1) лабораторні практикуми;
2) модульну контрольну роботу;
3) відповіді на іспиті.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Лабораторні практикуми

Ваговий бал – 6.

Максимальна кількість балів дорівнює 6 балів х 5 = 30 балів.

Критерії оцінювання:

- повне виконання завдання – 6;
- виконання, але теоретичні знання недостатні – 3… 5;
- не підготовлений – 0.

2. Модульна контрольна робота

Ваговий бал – 10.

Максимальна кількість балів дорівнює 10 балів х 1 = 10 балів.

Критерії оцінювання:

- повне виконання завдання – 10;
- неповне виконання завдання – 4...8;
- незадовільне виконання – 0.

Штрафні та заохочувальні бали:

- творчий підхід до роботи, активна участь в обговоренні тем, самостійний пошук тем: +1…4 балів;
- відсутність пропусків лекцій без поважних причин: +2…4 бали;
- відсутність на занятті без поважної причини: –1...–4 бал.

Максимальна кількість заохочувальних та штрафних балів дорівнює 4.

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$\mathbf{R_C = 30 + 10 = 40 \text{ балів.}}$$

Необхідною умовою допуску до екзамену є виконання усіх лабораторних робіт та МКР.

Екзаменаційна складова шкали дорівнює 60 % від **R**, а саме **60 балів**, і складається з двох частин: теоретичної та практичної (вирішення задачі).

5. Теоретична частина.

– вільне володіння матеріалом, відповідь на усі додаткові питання – 30 балів;
– досить впевнене володіння матеріалом, неповні відповіді на додаткові питання – 23 бали;
– невпевнена відповідь на основне питання, не має відповіді на додаткові питання – 18 балів;
– не має відповіді на основне питання – 0 балів.

6. Лабораторна частина.

– впевнене та швидке вирішення задачі, впевнені відповіді на додаткові питання – 30 балів;
– повне вирішення задачі, але непевні відповіді на основні запитання– 23 бали;
– неповне вирішення задачі, труднощі у відповідях – 18 балів;
– задача не вирішена – 0 балів.

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає $\mathbf{R = R_C + R_E = 40 + 60 = 100}$ **балів.**

Рейтингові бали, *R*	**Оцінка за університетською шкалою**
95–100	Відмінно
85–94	Дуже добре
75–84	Добре
65–74	Задовільно
60–64	Достатньо
< 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Умови позитивної проміжної атестації у семестрі.

Для отримання "зараховано" з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент матиме не менш, ніж 12 балів (за умови, якщо на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів "ідеальний" студент має отримати 20 балів).

Для отримання "зараховано" з другої проміжної атестації (14 тиждень)) студент матиме не менш, ніж 24 бали (за умови, якщо на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів "ідеальний" студент має отримати 40 балів).

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (наприклад, як додаток до силабусу);*

1. Типи нелінійності приводів та їх основні джерела.
2. Типи математичних моделей та приклади їх реалізації.
3. Уявлення про цифрові фільтри.
4. Фільтр Калмана.
5. Загальна класифікація авіаційних електричних машин.
6. Джерела живлення електричним струмом.
7. Соленоїди та електромагніти, їх характеристики та використання.
8. Двигуни постійного току, типи, конструкція та основні характеристики.
9. Регулювання ДПТ, приклади використання для побудови рульових приводів.
10. Асинхронні та синхронні електричні машини. Принцип дії, конструкція та основні характеристики асинхронних та синхронних електричних машин.
11. Універсальний колекторний двигун. Методи регулювання, приклади використання.
12. Принципи дії та приклади конструкції муфт, коробок передач та варіаторів.
13. Принцип функціонування, приклади конструкції крокових двигунів.
14. Електромеханічні характеристики крокових двигунів.
15. Принцип роботи, типова конструкція та електромеханічні характеристики безколекторних двигунів.
16. Узагальнена структура та типова реалізація вентильного електроприводу.
17. Типові функціональні пристрої гідравлічних приводів
18. Джерела рідини високого тиску: гідронасоси та гідроакумулятори.
19. Принцип роботи та конструкція розподільників та гідропідсилювачів.

20. Принцип роботи, приклади конструктивного виконання електрогідравлічних перетворювачів.

21. Передавальні характеристики електрогідравлічного рульового приводу.

22. Основні структурні елементи пневматичних та пневмонічних систем.

23. Монопаливні та газореактивні системи руху/орієнтації: типова побудова

24. Маховики та гіродіни для управління орієнтацією КА, приклади виконання.

25. Приводи разової дії з механічним/піротехнічним джерелом енергії.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено старшим викладачем, к.т.н. Ларьковим С.М.

Ухвалено кафедрою космічної інженерії (протокол № 15 від 07.06.2023 р.)
Погоджено Методичною комісією **НН ІАТ** (протокол № 6 від 22.06.2023 р.)