


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

Кафедра конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

О. В. Білогуб
(підпис) (ініціали та прізвище)

«___» _____ 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОBOB'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСІВ
В АВІАЦІЙНІЙ ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНІЙ ТЕХНІЦІ**
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
(код і найменування спеціальності)

Освітні програми: «Авіаційні двигуни та енергетичні установки»,
«Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок»
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти:
другий (магістерський)

Харків 2021 рік

Розробник: С. В. Єпіфанов, докт. техн. наук, професор
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри
конструкції авіаційних двигунів (203)
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 30 » серпня 2021 р.

Завідувач кафедри 203, д.т.н., професор
(науковий ступінь і вчене звання)



С. В. Єпіфанов
(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 3	Галузь знань: 13 <u>«Механічна інженерія»</u> (шифр і назва)	Вибіркова
Кількість модулів – 2	Спеціальність: 134 <i>«Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</i> (шифр і назва)	Навчальний рік 2021 / 2022
Кількість змістових модулів – 2		Семестр 2-й група 252м, 253м, 253фj
Індивідуальне завдання: - (назва)	Освітня програма: <i>Авіаційні двигуни та енергетичні установки Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок</i> (назва)	
Загальна кількість годин – 32*/90		
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студента – 3,6	Рівень вищої освіти: <u>другий (магістерський)</u>	
		Практичні, семінарські *
		16 год.
		Лабораторні *
		-
		Самостійна робота
		58 год.
Вид контролю <i>іспит</i>		

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить 32 / 58.

* Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: придбання знань та умінь, необхідних для кваліфікованого аналізу моделювання та розрахунків процесів в АРТК та уявлень про проектування систем управління двигунів та інших об'єктів АРТК.

Завдання: основними завданнями вивчення дисципліни «Моделювання та розрахунок процесів в АРТК» є вивчення принципів роботи і математичного моделювання авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) та інших систем АРТК, та виконання аналізу якості моделювання.

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

Загальні компетентності: *Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми. Здатність до проведення досліджень для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності. Навички використання новітніх інформаційних технологій.*

Спеціальні (фахові) компетентності: *Здатність оцінювати техніко-економічну ефективність проектування, досліджень, технологічних процесів та інноваційних розробок з урахуванням невизначеності умов і вимог. Усвідомлення робочих процесів у системах та елементах авіаційної та ракетно-космічної техніки, необхідних для розуміння, опису, вдосконалення об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки та оптимізації їх параметрів.*

Програмні результати навчання: *Розуміння та вміння використовувати сучасні методи розв'язування винахідницьких задач. Вміти застосовувати різні методи захисту інтелектуальної власності на технічні рішення, створені в ході професійної (науково-технічної) діяльності. Вміння використовувати новітнє спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності відповідно до освітньої програми. Вміння відповідати за розвиток професійного знання і практик команди в авіаційній та/або ракетно-космічній техніці, оцінку її стратегічного розвитку. Розуміння принципів навички обґрунтованого призначення показників якості об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки. Вміння визначати вихідні параметри для формування зовнішнього вигляду авіаційної та ракетно-космічної техніки на основі навичок оцінювання стійкості та міцності деталей згідно з існуючими методиками. Навички організації виконання складних завдань у професійній діяльності шляхом послідовного та якісного виконання їхніх окремих етапів, в тому числі з залученням колективу виконавців.*

Міждисциплінарні зв'язки: теорія ВРД, лопаткові машини, деталі машин, теоретична механіка, газодинаміка, теплопередача, електроніка, прикладна математика.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ В ГТД ТА В СИСТЕМАХ АРТК

Лекційні заняття

ТЕМА 1. Предмет вивчення та задачі моделювання та розрахунків процесів в АРТК. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література. Типи моделей об'єктів АРТК: лінійна та нелінійна моделі; аналітична та експериментально-розрахункова моделі; модель в просторі стану, передавальна функція та частотні характеристики; детерміністична модель та модель в умовах невизначеності. Фундаментальні властивості процесів та систем: стійкість, керованість, досяжність, спостережуваність, ідентифікованість.

ТЕМА 2. Нелінійні аналітичні моделі процесів в ГТД у просторі стану. Типові моделі збурювальних чинників. Лінеаризація процесів околу стаціонарного режиму та околу опорної траєкторії. Слушна, несуміщена, ефективна та оптимальна оцінки змінних стану процесів та систем. Аналіз якості моделювання процесів та систем за допомогою моделі у просторі станів. Рівняння динаміки та аналіз якості процесів двухвального ТРД з привідним паливним насосом.

ТЕМА 3. Передавальні функції типових з'єднаних елементів в систему. Перехід від передавальної функції системи до моделі у просторі стану. Перехід від моделі у просторі стану до передавальної функції системи. Аналіз якості процесів та систем за допомогою передавальної функції. Аналіз стійкості та схильності до коливань. Крутильні коливання в ТВаД.

ТЕМА 4. Моделювання процесів в АРТК в умовах невизначеності. Критерій спостережуваності Калмана. Земні та зв'язані системи координат летальних апаратів АРТК. Моделювання систем автоматичного управління швидкістю руху, кутом тангажа, кутом курсу та кутом крену безпілотного летального апарата в умовах невизначеності.

Модульний контроль

Модуль 2

Змістовий модуль 2

РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСІВ В ГТД ТА В СИСТЕМАХ АРТК

Лекційні заняття

ТЕМА 5. Методи оптимізації процесів, вузлів та систем ГТД. Критерії оптимальності. Структурна та параметрична ідентифікація процесів та систем. Квадратичний критерій оптимальності метода найменших квадратів (МНК). Необхідні та достатні умови оптимальності критерія МНК для статичних процесів та систем. Урахування обмежень різних типів. Оптимізація профілю диска турбіни ГТД.

ТЕМА 6. Ідентифікація процесів та систем в умовах невизначеності. Необхідні та достатні умови оптимальності критерія МНК для динамічних процесів та систем. Рекурентний алгоритм МНК. Аналіз якості ідентифікації змінних стану процесів та систем за допомогою рекурентного алгоритму МНК.

ТЕМА 7. Регуляризація критерія оптимальності МНК. Рекурентний алгоритм регуляризованого МНК. Приклади його застосування до САР АД. Аналіз якості ідентифікації змінних стану процесів та систем за допомогою рекурентного алгоритму регуляризованого МНК.

ТЕМА 8. Ідентифікація аеродинамічних сіл та моментів, діючих на летальні апарати АРТК.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
	усього	денна форма		
		у тому числі		
1	2	л	пр	с.р.
СЕМЕСТР 1				
Модуль 1				
Змістовий модуль 1 (Математичні моделі процесів в ГТД та в системах АРТК)				
ТЕМА 1. Вступ до дисципліни. Типи моделей об'єктів АРТК	10	2	2	6
ТЕМА 2. Аналіз якості моделювання процесів та систем за допомогою моделі у просторі станів.	11	2	2	7
ТЕМА 3. Аналіз якості процесів та систем за допомогою передавальної функції.	11	2	2	7
ТЕМА 4. Моделювання процесів в АРТК в умовах невизначеності.	12	2	1	9
Модульний контроль	1	-	1	-
Разом за змістовим модулем 1	45	8	8	29
Змістовий модуль 2 (АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ САУ ГТД)				
ТЕМА 5. Методи оптимізації процесів, вузлів та систем ГТД.	12	2	2	8
ТЕМА 6. Ідентифікація процесів та систем в умовах невизначеності.	12	2	2	8
ТЕМА 7. Рекурентний алгоритм регуляризованого МНК. Приклади його застосування до САР АД.	11	2	2	7
ТЕМА 8. Приклади застосування рекурентного алгоритму регуляризованого МНК до ідентифікації аеродинамічних сіл та мо-	9	2	1	6

ментів, діючих на летальні апарати АРТК.				
Модульний контроль	1	-	1	-
Разом за змістовим модулем 2	45	8	8	29
Контрольний захід				
Усього годин	90	16	16	58

5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розробка моделі в просторі стану та аналіз якості процесів двухвального ТРД з привідним паливним насосом.	2
2	Розробка передавальні функції та аналіз якості процесів двухвального ТРД з привідним паливним насосом..	2
3	Моделювання системи автоматичного управління швидкістю руху безпілотного летального апарата в умовах невизначеності.	2
4	Моделювання системи автоматичного управління кутом тангажа безпілотного летального апарата в умовах невизначеності.	2
5	Моделювання системи автоматичного управління кутом курсу безпілотного летального апарата в умовах невизначеності.	2
6	Моделювання системи автоматичного управління кутом крену безпілотного летального апарата в умовах невизначеності.	2
7	Оптимізація профілю диска турбіни ГТД.	2
8	Ідентифікація аеродинамічних сіл та моментів, діючих на безпілотний летальний апарат, з допомогою рекурентного алгоритму регуляризованого МНК.	2
	Разом	16

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Типи моделей об'єктів АРТК	6
2	Аналіз якості моделювання процесів та систем за допомогою моделі у просторі станів.	7
3	Аналіз якості процесів та систем за допомогою передавальної функції.	7
4	Моделювання процесів в АРТК в умовах невизначеності.	9
5	Методи оптимізації процесів, вузлів та систем ГТД.	8
6	Ідентифікація процесів та систем в умовах невизначеності.	8
7	Рекурентний алгоритм регуляризованого МНК. Приклади його застосування до САР АД.	7
8	Приклади застосування рекурентного алгоритму регуляризованого МНК до ідентифікації аеродинамічних сіл та моментів, діючих на летальні апарати АРТК.	6
	Разом	58

7. Методи навчання

Основні форми навчання:
- лекційна;

- практичні заняття;
- самостійна робота студента;
- іспит.

На лекціях студентів даються основні поняття, основи теорії, закономірності, необхідні для підготовки до виконання практичних робіт, а також самостійної роботи.

Лекція, розв'язує тільки одну дидактичну задачу – дає первісне знайомство з темою, організовує первісне сприйняття матеріалу, формулює основні проблеми.

Практичні заняття базуються на словесному (аналітичному) описанні САУ, а також й на матеріальному відображенні за допомогою спеціальних дидактичних матеріалів (розрізні макети, плакати та ін.). Під час їх проведення використовується бригадний характер праці студентів.

Основною формою навчання є самостійна робота. До неї не можна приступати без певного багажу знань, які даються на лекції. Під час самостійної роботи студенти поглиблено вивчають лекційний матеріал, готуються до проведення практичних робіт.

Питання для самостійної роботи студентів

Модуль 1

Змістовий модуль 1

1. Основні задачі та вимоги, класифікація моделей АРКТ.
2. Аналітичні та експериментально-розрахункові моделі.
3. Типові моделі збурювальних чинників.
4. Нелінійні аналітичні моделі процесів в ГТД у просторі стану.
5. Лінеаризація процесів околу стаціонарного режиму.
6. Лінеаризація процесів околу опорної траєкторії.
7. Слушна, несуміщена, ефективна та оптимальна оцінки змінних стану процесів та систем.
8. Аналіз якості моделювання процесів та систем за допомогою моделі у просторі станів.
9. Передавальні функції типових з'єднаних елементів в систему.
10. Аналіз стійкості та схильності до коливань процесів та систем.
11. Критерій спостережуваності Калмана.
12. Земні та зв'язані системи координат летальних апаратів АРТК.
13. Рівняння привідного паливного насосу.
14. Динамічні параметри ТРД. Визначення динамічних параметрів ТРД: за моментними характеристикам, за допомогою нелінійної моделі та експериментальних даних.
15. Рівняння динаміки ТРД з ПТН.
16. Властивості однороторного ТРД.
17. Проблеми моделювання процесів в АРТК в умовах невизначеності.

Модуль 2

Змістовий модуль 2

1. Зв'язок передавальної функції з диференціальним рівнянням динаміки системи.
2. Характеристичне рівняння. Зв'язок характеристичного рівняння з функцією передачі.
3. Частотні характеристики системи. Зв'язок АЧХ з передавальною функцією.
4. Методи оптимізації процесів, вузлів та систем ГТД.
5. Критерії оптимальності.
6. Структурна та параметрична ідентифікація процесів та систем.
7. Необхідні та достатні умови оптимальності критерія МНК для статичних процесів та систем.
8. Урахування обмежень різних типів в алгоритмах оптимізації.
9. Оптимізація профілю диска турбіни ГТД.
10. Поняття «модель системи в просторі станів».

11. Необхідні та достатні умови оптимальності критерія МНК для динамічних процесів та систем.
12. Рекурентний алгоритм МНК.
13. Аналіз якості ідентифікації змінних стану процесів та систем за допомогою рекурентного алгоритму МНК.
14. Регуляризація критерія оптимальності МНК.
15. Рекурентний алгоритм регуляризованого МНК.
16. Аналіз якості ідентифікації змінних стану процесів та систем.

8. Методи контролю

Матеріал дисципліни розбито на два змістових модулі:

1. Математичні моделі процесів в ГТД та в системах АТРК.
2. Розрахунки процесів в ГТД та в системах АТРК.

Складання модуля 1 – на 9-му тижні (один раз), складання модуля 2 – на 16-му тижні (один раз).

До складання модулів студент допускається за умов виконання всіх видів обов'язкових робіт, передбачених у модулях.

Оформлення практичних робіт – *письмово*, захист – *усно*.

Семестр 2 – *іспит*.

9. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

9.1 Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...0,5	10	0...5
Виконання і захист практичних робіт	2...4	3	8...12
Модульний контроль	14...23	1	14...23
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...0,5	6	0...3
Виконання і захист практичних робіт	2...4	3	8...12
Модульний контроль	14...23	1	14...23
Виконання і захист РГР	16...22	1	16...22
Усього за семестр			60...100

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. Допуск до іспиту надається за умов відпрацювання та здачі усіх лабораторних робіт, а також виконання та успішного захисту домашнього завдання.

Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з трьох теоретичних запитань та одного практичного завдання. Теоретичні запитання розподілено таким чином:

- Перше запитання - змістовий модуль 1;
- Друге запитання – змістовий модуль 2;
- Третє запитання – тематика практичного завдання.

Практичне завдання стосується розробки математичної моделі ГТД, визначення стійкості та властивості ГТД.

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 25.

9.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- методи створення математичних моделей авіаційних двигунів та систем АРТК;
- умови функціонування деталей та вузлів АД;
- особливості реалізації математичних моделей різних типів ГТД;
- методи аналізу якості та моделювання АД та систем АРТК;
- методи оптимізації процесів в ГТД;

вміти:

- створювати математичні моделі ГТД, знаходити, обґрунтовувати та обстоювати технічні рішення запроєктованих об'єктів;
- проводити математичне та комп'ютерне моделювання процесів в ГТД;
- виконувати аналіз властивостей САУ аналітичними і частотними методами.

9.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Виконати та захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати математичні моделі різних типів ГТД. Уміти визначити стійкість ГТД за заданими передаточними функціями та структурною схемою. Пояснювати особливості моделі процесів та систем в просторі стану. Знати методи аналізу якості та моделювання АД та систем АРТК. Пояснювати основні особливості структурної та параметричної ідентифікації процесів та систем.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати тенденції розвитку ГТД та внесок у цей процес розвитку методів оптимізації. Знати особливості реалізації математичних моделей різних типів. Вміти визначити якість САУ ГТД за заданими математичними співвідношеннями. Знати основні етапи розрахунку систем оптимізації та ідентифікації процесів та систем. Вміти визначати стійкість САУ ГТД за допомогою різних критеріїв. Знати особливості П-, ПИ- та ПИД регуляторів. Знати принцип дії основних чуйників САУ ГТД. Визначати передаточні функції елементів та САУ за заданими математичними співвідношеннями. Виконувати математичне та комп'ютерне моделювання процесів в ГТД.

Відмінно (90-100). Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Виконати та добре або відмінно захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре» і кількістю балів не менше 80). Повно знати основний та додатковий матеріал. Пояснювати вплив автоматичного управління та методів оптимізації на ефективність праці двигуна. Знати особливості реалізації математичних моделей різних типів. Знати програми автоматичного управління різних типів ГТД. Виконувати математичне та комп'ютерне моделювання та аналіз процесів в ГТД. Виконувати розрахунки властивостей САУ аналітичними і частотними методами. Володіти основами аналізу та синтезу систем оптимізації та ідентифікації процесів і систем.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
	Для іспиту	Для заліку
90-100	Відмінно	Зараховано
75-89	Добре	
60-74	Задовільно	
01-59	Незадовільно	Не зараховано

11. Методичне забезпечення

1. Дидактичні матеріали (наочні посібники, плакати, ТЗН).
2. Розрізні макети газотурбінних двигунів в аудиторіях 103 та 124.
3. Методичні навчальні посібники за темами та розділами курсу.
4. Розрахункові та контрольні програми ПЕОМ
5. Методичні розробки каф. 203 з методиками розрахунків та варіантами завдань.

12. Рекомендована література

Базова

1. Иноземцев, А. А. Газотурбинные двигатели. Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок [Текст] / А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. - М.: Машиностроение, 2007. – 204 с.
2. Han, J. C. Gas turbine heat transfer and cooling technology. 2-nd edition [Text] / J. C. Han, S. Dutta, S. Ekkad. – CRC Press, Boca Raton, London. New York, 2013. – 843 p.
3. Гольцов, А. С. Методы оптимизации и адаптивного управления в машиностроении [Текст] / А. С. Гольцов. – Волгоград: ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2009. – 168 с.
4. Моделирование САУ ГТД и их функциональных элементов : учеб. пособие по лаб. практикуму [Текст] / С. В. Епифанов, Д. Ф. Симбирский, Р. Л. Зеленский. – Х. : Нац аэрокосмический ун-т «ХАИ». 2006. – 65 с.
5. Оптимизация массы диска газовой турбины с использованием элементов систем автоматизированного проектирования [Текст]: учеб. пособие по лаб. практикуму. / С. В. Епифанов, Ю. А. Гусев, С. А. Каплун и др. – Х. : Нац аэрокосмический ун-т «ХАИ». 1990. – 33 с.

Допоміжна

6. Калман, Р. Очерки по математической теории систем [Текст] / Р. Калман, П. Фарб, М. Арбиб. – М.: Единореал, 2004. – 400 с.
7. Гольцов, А. С. Математические основы теории управления и автоматизации [Текст] / А. С. Гольцов. – Волгоград: ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2013. – 158 с.