


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

Кафедра *конструкції авіаційних двигунів (№ 203)*
Кафедра *технологій виробництва авіаційних двигунів (№ 204)*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми


(підпис) Олександр БІЛОГУБ
(ім'я та прізвище)

« 30 » 08 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА *ОБОВ'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 та найменування спеціальності)

Освітня програма «Авіаційні двигуни та енергетичні установки» (ОПП, ОНП)
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
(рівень освіти)

Харків 2023 рік

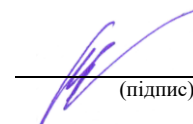
Розробники Сергій ЄПІФАНОВ, зав. каф. 203, д.т.н., проф.

(ім'я та прізвище, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Володимир ТРЕТЯК, проф. каф. 204, к.т.н., доц.

(ім'я та прізвище, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

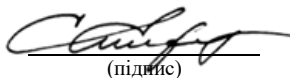
Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри
Конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

(назва кафедри)

Протокол № 1 від «28» серпня 2023 р.

Завідувач каф. 203 д.т.н., професор

(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Сергій ЄПІФАНОВ

(ім'я та прізвище)

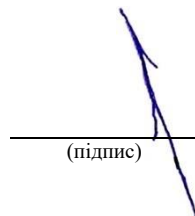
Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри
Технологій виробництва авіаційних двигунів (№ 204)

(назва кафедри)

Протокол № 1 від «30» серпня 2023 р.

Завідувач каф. 204 д.т.н., професор

(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Анатолій ДОЛМАТОВ

(ім'я та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 6	Галузь знань: <i>13</i> <u>«Механічна інженерія»</u> (шифр і назва)	<i>Обов'язкова</i>
Кількість модулів – 2	Спеціальність: <i>134</i> <i>«Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</i> (шифр і назва)	Навчальний рік <i>2023 / 2024</i>
Кількість змістових модулів – 2		Семестр <i>2-й</i>
Індивідуальне завдання: – (назва)	Освітня програма: <i>Авіаційні двигуни та енергетичні установки (ОПП, ОНП)</i> (назва)	
Загальна кількість годин – 64*/180		Лекції* <i>32 год.</i>
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 7,25	Рівень вищої освіти: <i>другий (магістерський)</i>	Практичні, семінарські* <i>32 год.</i>
		Лабораторні* <i>–</i>
		Самостійна робота <i>116 год.</i>
		Вид контролю <i>Модульний контроль, іспит</i>

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить 64 / 116.

* 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:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.

ЗК2. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ЗК3. Здатність дослідження на відповідному рівні.

ЗК5. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

ЗК8. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями.

Спеціальні (фахові) компетентності:

СК2. Здатність критично осмислювати перспективи авіаційної та/або ракетно-космічної техніки, у тому числі на межі із суміжними галузями, інженерними науками, фізикою, хімією, екологією, економікою.

СК4. Здатність оцінювати техніко-економічну ефективність проектування, досліджень, технологічних процесів та інноваційних розробок.

СК5. Здатність створювати, удосконалювати та застосовувати математичні та числові методи моделювання властивостей, явищ та процесів у системах та елементах авіаційної та ракетно-космічної техніки.

СК7. Здатність виконувати інженерні та управлінські роботи з підготовки виробництва об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки з використанням новітніх технологій.

Програмні результати навчання:

ПРН3. Розуміти та застосовувати при розв'язанні складних професійних (науково-технічних) задач принципи та методи системного аналізу.

ПРН4. Використовувати сучасні методи розв'язання винахідницьких задач, захищати інтелектуальну власність на технічні рішення та інші результати професійної (науково-технічної) діяльності.

ПРН5. Використовувати новітнє спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності відповідно до освітньої програми.

ПРН6. Приймати ефективні рішення при виникненні нестандартних складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності в умовах невизначеності вимог, наявності спектру думок та обмеженості часу.

ПРН13. Оцінювати стійкість та керованість літального апарата, визначати вихідні параметри для формування зовнішнього вигляду авіаційної та ракетно-космічної техніки.

ПРН14. Застосовувати сучасні методи та засоби конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, в тому числі комп'ютеризованого гнучкого виробництва, складання та випробування елементів і систем сучасної авіаційної та ракетно-космічної техніки.

ПРН16. Розраховувати напружено-деформований стан, визначати несну здатність конструктивних елементів і надійність систем авіаційної та ракетно-космічної техніки з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, яке використовується в галузі.

ПРН18. Визначати та оптимізувати параметри технологічних процесів, в тому числі з застосуванням автоматизованого комп'ютерного проектування 9 виробництва вузлів, агрегатів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки

Пререквізити: конструкція авіаційних двигунів, технології виробництва авіаційних двигунів, теорія ВРД, лопаткові машини, деталі машин, теоретична механіка, термодинаміка, газодинаміка, теплопередача, інформатика, прикладна математика.

Кореквізити: композитні конструкції в АРТК, системи технічної підготовки виробництва, автоматизовані системи діагностики АД і ЕУ, системи автоматичного керування, дипломне проектування.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ В ГТД ТА В СИСТЕМАХ АРКТ

ТЕМА 1. Предмет вивчення та задачі моделювання та розрахунків процесів в АРТК. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література. Використання моделювання в науці та техніці. Методи наукового пізнання. Визначення моделі, види моделювання: матеріальне, ідеальне (натурне та аналогове). Класифікація моделей: когнитивна, знакова, концептуальна, логіко-семантична, структурно-функціональна, причинно-наслідкова та формальна моделі.

ТЕМА 2. Математичні моделі. Математичний опис об'єкта моделювання. Класифікація математичних моделей: за складністю об'єкта моделювання (структурні та імітаційні), залежно від математичної форми оператора моделі, залежно від параметрів моделі. Якісні та кількісні характеристики і параметри моделей. Опис ступеня невизначеності параметрів (детермінований, стохастичний, випадковий, інтервальний, нечіткий опис). Розмірність простору параметрів. Стационарні та нестационарні об'єкти. Класифікація математичних моделей залежно від мети моделювання: дескриптивні, оптимізаційні та управлінські моделі. Класифікація математичних моделей залежно від методів їх реалізації: аналітичні та алгоритмічні.

ТЕМА 3. Етапи формування математичних моделей та вимоги до них. Дослідження об'єкта моделювання. Концептуальна постановка задачі моделювання. Математична постановка задачі моделювання: формування співвідношень, що визначають оператор моделі, контроль коректності сформованих співвідношень (контроль розмірностей, контроль порядків, контроль характеру залежностей, контроль екстремальних ситуацій, контроль граничних умов, контроль фізичного сенсу, контроль математичної замкненості, контроль коректності постановки задачі. Вибір методу розв'язання задачі: аналітичні, алгоритмічні (числові) методи. Програмна реалізація алгоритму розв'язання задачі моделювання. Перевірка адекватності моделі. Практичне використання моделі. Вимоги до математичних моделей: адекватність, простота, універсальність, економічність, достовірність.

ТЕМА 4. Основні положення теорії подібності та розмірності. Роль теорії подібності та розмірності. Одиниці вимірювання. Перехід від одної системи вимірювання до іншої. Кількість основних одиниць вимірювання. Поняття про критерії подібності. Кількість незалежних критеріїв подібності. Подібність явищ і об'єктів. П-теорема.

ТЕМА 5. Приклади математичних моделей. Статичні моделі. Приклади математичних моделей, основаних на фізичних законах: 1) модель прогину кінця консольної балки постійного перерізу, навантаженої зосередженою силою (аналітична лінійна SISO модель із зосередженими параметрами); 2) модель прогину та кутового повороту кінця тієї ж балки, навантаженої зосередженою силою та моментом (аналітична лінійна MIMO модель із зосередженими параметрами); 3) модель прогину та кутового повороту довільного перерізу тієї ж балки (аналітична лінійна MIMO модель із розподіленими параметрами); 4) модель прогину та кутового повороту кінця тієї ж балки, навантаженої зосередженою силою, прикладеною у проміжному перерізі (аналітична нелінійна SISO модель із зосередженими параметрами); 5) модель розподілу температури в охолоджуваній стінці (аналітична лінійна модель з розподіленими параметрами, отримана як рішення диференційного рівняння системи). Приклади аналітичних моделей, основаних на описі експериментальних даних: 6) модель теплообміну між потоком газу та твердим тілом; 7) модель тривалої міцності; 8) характеристика компресора. Приклади обчислювальних моделей, основаних на розв'язанні рівнянь робочого процесу: згин консольної балки змінного перерізу (лінійне неоднорідне диференціальне рівняння); модель розподілу температури в охолоджуваній стінці з урахуванням залежності коефіцієнта теплопровідності від температури (система нелінійних алгебраїчних рівнянь). Приклади алгоритмічних моделей: модель робочого процесу турбореактивного двигуна на усталених режимах роботи (розв'язання системи нелінійних алгебраїчних рівнянь, основаних на умовах спільної роботи вузлів двигуна, із представленням характеристик вузлів у вигляді емпіричних моделей, заданих у графічній або табличній формах).

ТЕМА 6. Приклади математичних моделей. Динамічні моделі. Приклади аналітичних динамічних моделей, оснований на фізичних законах: 1) Модель власних згинальних коливань консольної балки із зосередженою масою; 2) Модель власних згинальних коливань консольної балки із зосередженою масою при дії періодичної сили. Динамічна модель, представлена системою диференціальних рівнянь; 3) Модель прогрівання теплоізольованої стінки (рішення Фур'є у вигляді нескінченної суми та рішення методу скінченних елементів у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь). Динамічна модель у просторі станів. 4) Модель прогрівання теплоізольованої стінки з урахуванням залежності теплофізичних властивосте матеріалу стінки від температури. Алгоритмічні динамічні моделі: 5) Нелінійна динамічна модель ГТД (система, що складається з нелінійних диференціальних рівнянь та нелінійних алгебраїчних рівнянь).

ТЕМА 7. Основи аналізу лінійних систем. Лінеаризація як універсальний метод формування спрощених моделей. Лінеаризація статичних моделей. Лінеаризація динамічних моделей. Приклади формування лінійних динамічних моделей: лінійна динамічна модель ГТДТРД; перехідна характеристика ТРД по витраті палива; динамічна модель чутливого елемента частоті обертання відцентрового типу; рівняння динаміки гідравлічного сервомотора без зворотного зв'язку; рівняння динаміки гідравлічного сервомотору з золотниковим розподіленням і жорстким зворотним зв'язком; система автоматичного керування частотою обертання ТРД із гідравлічним сервомотором. Методи аналізу лінійних диференціальних рівнянь: властивості розв'язків лінійних диференціальних рівнянь; характеристичне рівняння та зв'язок його коренів із частинними розв'язками диференціального рівняння; характер перехідних процесів у лінійній динамічній системі; стійкість динамічних систем.

ТЕМА 8. Числові методи розв'язання задач моделювання. Похибки обчислень. Інтерполяція таблично заданих функцій. Числове диференціювання: формула прямокутників, формула трапецій, формула Симпсона. Розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь: загальна інформація про системи лінійних рівнянь, метод Крамера, метод виключення Гауса, зумовленість систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Розв'язання нелінійних рівнянь: метод половинного ділення, метод хорд, метод Ньютона, метод січних, метод простої ітерації. Розв'язання систем нелінійних рівнянь: метод Ньютона. Розв'язання диференціальних рівнянь: метод Ейлера, модифікований метод Ейлера, метод Рунге-Кутта, багатокрокові методи.

ТЕМА 9. Зворотні задачі моделювання. Оптимізація. Особливості математичної постановки задач проектування. Приклади постановки задач оптимізації: проектування консольної балки, проектування замкової частини диска компресора, проектування профілю диска, керування запасами, вибір параметрів термодинамічного циклу газотурбінного двигуна, організація технічного контролю виробів підприємства, оптимізація багатоступеневого компресора, оптимізація відстані між компресорними станціями магістрального газопроводу.

ТЕМА 10. Числові методи пошуку безумовного екстремуму. Методи одновимірного пошуку: методи звуження інтервалу (половинного ділення, золотого поділу), метод послідовної квадратичної апроксимації, методи, оснований на використанні похідних (Ньютона-Рафсона, січних, кубічної апроксимації). Методи пошуку екстремуму функції декількох змінних: методи прямого пошуку (симплекс-метод), методи градієнтного пошуку (метод найшвидшого спуску, метод Ньютона, метод Марквардта, метод спряжених градієнтів).

ТЕМА 11. Числові методи пошуку умовного екстремуму. Задача лінійного програмування. Задача нелінійного програмування. Метод штрафних функцій. Методи випадкового пошуку.

ТЕМА 12. Зворотні задачі моделювання. Ідентифікація. Опис випадкових величин. Властивості розподілів: розподіли дискретних та безперервних величин, параметри розподілів, типові розподіли, статистичні розподіли. Постановка та основні етапи розв'язання задачі ідентифікації: формулювання задачі та приклад її вирішення, аналіз похибок ідентифікації. Приклад розв'язання зворотної задачі для динамічної системи.

Модульний контроль

Модуль 2

Змістовий модуль 2

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА АРКТ

Тема 1. Принципи системного підходу в процесах моделювання процесів АРКТ. Структура і складові частини сучасної інтелектуальної системи.

Тема 2. Сучасні напрями досліджень в області штучного інтелекту. Уявлення знань і висновки на знаннях.

Тема 3. Типи математичних моделей, які використовуються в сучасних інтелектуальних системах. Класифікація. Можливості. Переваги і недоліки. Приклади.

Тема 4. Методи проектування в інтелектуальних системах. Прямі і зворотні задачі в процесах проектування процесів АРКТ. Сутність і алгоритми методів синтезу і адресації.

Тема 5. Складові частини процесів проектування. Методи проектування знизу вгору і зверху вниз.

Тема 6. Методика розроблення математичних моделей. Методи математичного аналізу.

Тема 7. Типові проектні процедури.

Тема 8. Вирішення задач адресації. Схема. Можливості. Переваги і недоліки.

Тема 9. Вирішення задач синтезу. Схема. Можливості. Переваги і недоліки.

Тема 10. Використання математичних моделей в прямій задачі. Метод скінченних різниць і метод кінцевих елементів. Приклади реалізації методів.

Тема 11. Класифікаційний аналіз даних. Класифікаційний аналіз з навчанням. Дискримінаційний аналіз. Загальні моделі дискримінаційного аналізу.

Тема 12. Класифікаційний аналіз без навчання. Кластерний аналіз. Древа класифікації і їх властивості. Обчислювальні методи.

Тема 13. Методи регуляції даних. Аналіз чинника. Метод аналізу головних компонент і їх класифікація.

Тема 14. Методи аналізу і спрощення геометричної структури даних. Багатовимірне шкалювання. Обчислювальні методи багатовимірного шкалювання. Аналіз відповідностей.

Тема 15. Причинне моделювання. Моделювання структурними рівняннями. Побудова діаграм шляхів.

Тема 16. Методи аналізу живучості. Основні поняття. Метод позитивних оцінок. Метод множинних оцінок. Регресійні моделі.

Тема 17. Аналіз часових рядів і прогнозування. Модель ковзного інтегрованого середнього, що експоненціально згладжує і прогнозує. Сезонна декомпозиція. Спектральний аналіз. Аналіз розподілу лагів.

Тема 18. Структурно-аналітичний метод розпізнавання подібностей. Алгоритми. Таблиці істинності предикатів. Реалізація методу в програмному забезпеченні.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
	денна форма			
	усього	у тому числі		
л		пр	с.р.	
1	2	3	4	5
Модуль 1				
Змістовий модуль 1 (Математичні моделі робочих процесів в системах АРКТ)				
ТЕМА 1. Вступ до дисципліни. Предмет вивчення та задачі моделювання та розрахунків процесів в АРКТ. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література. Використання моделювання в науці та техніці. Методи наукового пізнання.	3	1	-	2
ТЕМА 2. Математичні моделі. Математичний опис об'єкта моделювання. Класифікація математичних моделей	3	1	-	2
ТЕМА 3. Етапи формування математичних моделей та вимоги до них.	3	1	-	2
ТЕМА 4. Основні положення теорії подібності та розмірності.	5	1	-	4
ТЕМА 5. Приклади математичних моделей. Статичні моделі.	8	2	2	4
ТЕМА 6. Приклади математичних моделей. Динамічні моделі.	8	2	2	4
ТЕМА 7. Основи аналізу лінійних систем.	16	2	6	8
ТЕМА 8. Числові методи розв'язання задач моделювання	12	2	2	8
ТЕМА 9. Зворотні задачі моделювання. Оптимізація	8	2	-	6
ТЕМА 10. Числові методи пошуку безумовного екстремуму	7	1	-	6
ТЕМА 11. Числові методи пошуку умовного екстремуму	7	1	-	6
ТЕМА 12. Зворотні задачі моделювання. Ідентифікація	10	2	2	6
Модульний контроль	1	-	-	1
Разом за змістовим модулем 1	90	18	14	58
Модуль 2				
Змістовий модуль 2 (Математичні моделі технологічних процесів виробництва АРКТ)				
ТЕМА 1. Принципи системного підходу в проектуванні процесів АРКТ	4,5	0,5	1	3
ТЕМА 2. Сучасні напрямки досліджень в області штучного інтелекту	4,5	0,5	1	3
ТЕМА 3. Типи математичних моделей	4,5	0,5	1	3
ТЕМА 4. Сучасні методи проектування	4,5	0,5	1	3
ТЕМА 5. Складові частини процесів проектування	4,5	0,5	1	3
ТЕМА 6. Методика розробки математичних моделей	4,5	0,5	1	3
ТЕМА 7. Типові проектні процедури	4,5	0,5	1	3
ТЕМА 8. Вирішення задач адресації в зворотній задачі	6,5	0,5	1	5
ТЕМА 9. Вирішення задач синтезу в зворотній задачі	7	1	1	5
ТЕМА 10. Використання математичних моделей в прямій задачі	5	1	1	3

ТЕМА 11. Класифікаційний аналіз даних. Класифікаційний аналіз з навчанням	5	1	1	3
ТЕМА 12. Класифікаційний аналіз без навчання	5	1	1	3
ТЕМА 13. Методи регуляції даних	5	1	1	3
ТЕМА 14. Методи аналізу і спрощення геометричної структури даних	5	1	1	3
ТЕМА 15. Причинне моделювання	5	1	1	3
ТЕМА 16. Методи аналізу живучості	5	1	1	3
ТЕМА 17. Аналіз часових рядів і прогнозування	5	1	1	3
ТЕМА 18. Структурно-аналітичний метод розпізнавання подібності	5	1	1	3
Модульний контроль	1	-	-	1
Разом за змістовим модулем 2	90	14	18	58
Усього годин	180	32	32	116

5. Теми практичних занять

Модуль 1

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Приклади математичних моделей. Статичні моделі.	1
2	Приклади математичних моделей. Динамічні моделі.	1
3	Формування математичних моделей динамічних систем у Matlab Simulink	1
4	Формування динамічних моделей ГТД в Matlab Simulink	1
5	Моделювання чутливих елементів та виконавчих пристроїв	2
6	Моделювання системи автоматичного управління частотою обертання ротора ГТД	2
7	Оптимізація профілю диска турбіни ГТД.	2
8	Ідентифікація статичної моделі	2
9	Ідентифікація динамічної моделі термопари	2
	Разом	14

Модуль 2

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Методика розробки математичних моделей для задач структурного синтезу	3
2	Методика розробки математичних моделей для задач параметричного синтезу	3
3	Методика розробки математичних моделей для задач параметричного синтезу	2
4	Методика розробки математичних моделей і розрахунків в сучасній інтелектуальній системі в прямій задачі	2
5	Методика розробки математичних моделей і розрахунків в сучасній базі знань	2
6	Методика розробки математичної моделі для розрахунків для імпульсних технологій	2
7	Методика розробки математичної моделі для інтелектуальних винахідницьких задач	4
	Разом	18

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ до дисципліни. Предмет вивчення та задачі моделювання та розрахунків процесів в АРТК. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література. Використання моделювання в науці та техніці. Методи наукового пізнання	2

2	Математичні моделі. Математичний опис об'єкта моделювання. Класифікація математичних моделей	2
3	Етапи формування математичних моделей та вимоги до них	2
4	Основні положення теорії подібності та розмірності	4
5	Приклади математичних моделей. Статичні моделі	4
6	Приклади математичних моделей. Динамічні моделі	4
7	Основи аналізу лінійних систем	8
8	Числові методи розв'язання задач моделювання	8
9	Зворотні задачі моделювання. Оптимізація	6
10	Числові методи пошуку безумовного екстремуму	6
11	Числові методи пошуку умовного екстремуму	6
12	Зворотні задачі моделювання. Ідентифікація	7
13	Конструкторська, технологічна і функціональна модель в сучасній інтелектуальній системі	5
14	Складові частини інтелектуальних систем	5
15	Історія розвитку інтелектуальних систем	6
16	Методи розпізнавання подібності	6
17	Розробка математичної моделі складної деталі для групового технологічного процесу	6
18	Розробка математичної моделі для типового технологічного процесу в інтелектуальній системі	6
19	Розробка математичної моделі для групового технологічного процесу в сучасній інтелектуальній системі	6
20	Розробка бібліотеки типових елементів технологічного процесу для об'ємної деталі	6
21	Розробка технологічного процесу імпульсного деформування в технологічній інтелектуальній системі	6
22	Мовне середовище інтелектуальної системи	6
	Разом	116

7. Методи навчання

Основні форми навчання:

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

На лекціях студентам 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.

8. Питання для самостійної роботи студентів

Модуль 1

Змістовий модуль 1

1. Класифікація і характеристика методів наукового пізнання.
2. Що таке «моделювання»?
3. Місце моделювання в системі наукового пізнання.
4. Види моделювання.
5. Класифікація моделей.
6. Що таке «математичне моделювання»?
7. Загальна структура математичної моделі та основні групи змінних, які в ній використовуються.
8. За якими ознаками виконується класифікація математичних моделей?
9. Класифікація математичних моделей за складністю, математичній формі оператора, за видом параметрів моделі.
10. Класифікація математичних моделей за ступенем невизначеності параметрів, залежності параметрів від часу, розмірності простору параметрів і методів реалізації.
11. Перелічіть основні етапи формування моделей.
12. Як виконується перевірка коректності математичної моделі?
13. Як вибирається метод розв'язання задачі моделювання?
14. Що таке адекватність моделі та як вона оцінюється кількісно?
15. У чому полягає різниця між основними та похідними одиницями вимірювання фізичних величин? Чис ця різниця абсолютною (обґрунтованою фізичними законами) або умовною?
16. Які основні одиниці вимірювання використовуються в механіці? Чим визначається вибір кількості цих одиниць? Чи можна змінити їх кількість?
17. Що називають критеріями подібності?
18. Сформулюйте умову подібності двох систем.
19. У чому сутність П-теореми?
20. Структура статичної моделі.
21. У чому відмінність аналітичних моделей, основаних на фізичних законах? Наведіть приклади.
22. У чому полягає різниця між моделями із зосередженими та розподіленими параметрами? Наведіть приклади.
23. Співвідношення між параметрами системи, що моделюється, яка описується диференціальним рівнянням у частинних похідних по координатах. Визначте тип системи: статична або динамічна, із зосередженими або розподіленими параметрами.
24. Напишіть рівняння обертового руху ротора двигуна. Дайте класифікацію цієї моделі.
25. Яка модель описує аеродинамічні характеристики профіля крила (або лопатки)? Дайте класифікацію цієї моделі.
26. Нарисуйте приклад діаграми деформування конструкційного матеріалу (наприклад, металевого сплаву). Дайте класифікацію цієї моделі.
27. Наведіть приклад динамічної моделі системи із зосередженими параметрами.
28. Наведіть приклад динамічної моделі з розподіленими параметрами.
29. Напишіть формулу, яка описує рух математичного маятника. Дайте класифікацію цієї моделі.
30. Сформулюйте модель руху твердого тіла (матеріальної точки) масою m , кинутого з швидкістю v паралельно до горизонту з висоти H . Урахуйте силу аеродинамічного опору повітря. Дайте класифікацію цієї моделі.
31. Дайте класифікацію моделі, яка описується системою диференціальних рівнянь у частинних похідних по часу та координатах із постійними коефіцієнтами з правими частинами рівнянь, що дорівнюють нулю.
32. Запишіть вираз для лінеаризованої моделі функції однієї змінної та лінеаризованої моделі функції двох змінних. Як визначити коефіцієнти цих моделей, використовуючи вихідну нелінійну модель?

33. Запишіть приклад нелінійного диференціального рівняння другого порядку. Як сформулювати відповідну лінійну динамічну модель?
34. Чому рівняння динаміки будь-якої механічної системи з вагомими рухомими елементами (наприклад, чутливого елемента частоти обертання відцентрового типу) описується диференціальними рівняннями, порядок якого є не менше двох?
35. Які властивості розв'язків лінійних диференціальних рівнянь використовуються при аналізі динамічних властивостей лінійних систем?
36. Що таке характеристичне рівняння та як його отримати з вихідного диференціального рівняння?
37. Як по значеннях коренів характеристичного рівняння перевірити схильність системи до коливань?
38. Яка система називається стійкою?
39. Як по значеннях коренів характеристичного рівняння перевірити стійкість системи?
40. Перелічіть основні джерела похибок моделювання.
41. Що таке інтерполяція та чим вона відрізняється від апроксимації?
42. Як визначаються коефіцієнти апроксимуючих функцій при лінійній і квадратичній інтерполяції?
43. Яку фізичну інтерпретацію має інтерполяція сплайнами третього порядку?
44. Наведіть приклади числового визначення похідних від заданої функції.
45. Наведіть приклад методу числового інтегрування.
46. Скільки рішень має система лінійних алгебраїчних рівнянь із виродженою матрицею?
47. Чому метод Крамера не використовується в реальних обчисленнях?
48. Поясніть послідовність обчислень при реалізації методу виключення Гауса для розв'язання систем лінійних рівнянь.
49. Яка система лінійних рівнянь є стійкою?
50. Що таке число зумовленості матриці та як його використовувати для оцінки похибки розв'язання системи лінійних рівнянь?
51. Наведіть приклади методів розв'язання нелінійних рівнянь.
52. Чим метод січних для розв'язання нелінійних рівнянь відрізняється від методу Ньютона? Який метод сходиться швидше?
53. Що таке матриця Якобі та як вона використовується для розв'язання систем нелінійних рівнянь?
54. Наведіть і поясніть алгоритм, який реалізує розв'язання диференціальних рівнянь методом Ейлера.
55. Чому метод Рунге-Кутта в багатьох випадках виявляється більш ефективним для розв'язання диференціальних рівнянь, ніж значно більш простий метод Ейлера?
56. Математична постановка задач оптимізації. Задачі безумовної оптимізації та задачі умовної оптимізації.
57. Приведете приклади задач безумовної оптимізації.
58. Наведіть приклади задач умовної оптимізації.
59. Які основні типи методів пошуку екстремуму Ви знаєте?
60. Які типи методів пошуку екстремуму не вимагають обчислення похідних?
61. Запишіть рівняння поліноміальної функції третього порядку. Запишіть умову, яку мають задовольняти коефіцієнти цієї функції для того, щоб вона мала екстремуми. Скільки їх? Розгляньте та проілюструйте в графічному вигляді використання методу Ньютона для пошуку екстремуму цієї функції.
62. Поясніть графічно на прикладі функції двох змінних використання методу найшвидшого спуску для пошуку екстремуму.
63. У чому полягає постановка задачі ідентифікації?
64. У чому полягає відмінність між структурною та параметричною ідентифікацією?
65. Що є розв'язком задачі параметричної ідентифікації?

66. Як описуються оцінки, визначені за експериментальними даними, з урахуванням того, що ці дані мають випадковий характер?
67. Які критерії використовуються для розв'язання задачі параметричної ідентифікації? У чому полягає метод найменших квадратів?
68. Як характеризують похибки оцінювання?
69. Що таке довірчий інтервал і сумісна довірна область?

9. Методи контролю

Матеріал дисципліни розбито на два змістових модулі:

1. Математичні моделі робочих процесів в системах АРКТ.
2. Математичні моделі технологічних процесів виробництва АРКТ.

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*.

10. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

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

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовий модуль 1			
Робота на лекціях	0...0,3	10	0...3
Виконання і захист практичних робіт	0,6...1	7	5...7
Модульний контроль	25...40	1	25...40
Змістовий модуль 2			
Робота на лекціях	0...0,5	6	0...3
Виконання і захист практичних робіт	0,6...1	7	5...7
Модульний контроль	25...40	1	25...40
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.

10.2 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.

10.3 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 особовості моделі процесів та систем в просторі стану. Знати методи аналізу якості та моделювання АД та систем АРТК. Пояснювати основні особовості структурної та параметричної ідентифікації процесів та систем.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та вмінь. 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 особовості 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.
6. Програмне забезпечення, розроблене і запатентоване кафедрою 204.
7. Ліцензійне програмне забезпечення каф. 204.
8. Методичні навчальні посібники за темами та розділами курсу.
9. Методичні розробки каф. 204 з методиками розрахунків та варіантами завдань:

1. Проектування операцій на верстаті з ЧПК. Токарна обробка [Електронний ресурс] : навч. посіб. до практ. робіт / В. Ф. Сорокін, В. В. Третяк, К. А. Данько. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків, авіац. ін-т» 2018. – 50 с.
2. Проектування операцій для верстатів з ЧПК. Фрезерне оброблення [Текст]: навч. посіб. для практ. робіт / В. Ф. Сорокін, В. В. Третяк, А. В. Онопчєяко, К. А. Данько. – Х.: Нац. аерокосм, ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2018. – 46 с.
3. Автоматизовані системи управління життєвим циклом виробу [Текст] : учбовий, посібник: в 2 ч. / М. С. Романов, Н. В. Руденко, В. В. Третяк, Р. В. Воропай, А. А. Бреус. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харьк. авіац. ин-т», 2018. – Ч. 2. – 108 с.
4. Розрахунок параметрів технологічного процесу штампування об'ємних деталей на імпульсному пресі [Текст] : навч. посіб. до дипл. проектування / В. В. Третяк, В. Д. Сотников, Ю. О. Невешкін, А. В. Онопченко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків, авіац. ін-т», 2018. – 52 с.
5. Третяк, В.В. Розробка програмного забезпечення для технологічних розрахунків в об'єктно-орієнтованому середовищі. Навч. посіб. / В. В. Третяк. – Харків: Нац. аерокосм.ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 76 стор. (Електр. ресурс).
6. Проектування технологічних процесів імпульсного оброблення методами синтезу і адресації [Текст]. Навч. посіб / В. В. Третяк, А. В. Онопченко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 72 стор.
7. Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва листових деталей методами імпульсного штампування. Навч. посіб. / А. М. Гринченко, В. В. Третяк, Ю. В. Лемешко, А. В. Онопченко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2018. – 80 стор.
8. Третяк В.В. Розрахунок параметрів технологічного процесу штампування об'ємних деталей на імпульсному пресі. Навч. посібник. / В. В. Третяк, В. Д. Сотников, Ю. О. Невешкін, А. В. Онопченко. – Харків. Нац аерокосм ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харьк. авіац. ін-т». 2018. – 52 стор.

12. Рекомендована література

Базова

1. Єпіфанов, С. В. Конструкція авіаційних газотурбінних двигунів : підручник / С. В. Єпіфанов, В. С. Чигрин. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2023. – 320 с.
2. Nan, J. C. Gas turbine heat transfer and cooling technology. 2-nd edition [Text] / J. C. Nan, S. Dutta, S. Ekkad. – CRC Press, Boca Raton, London. New York, 2013. – 843 p.
3. Теорія авіаційних газотурбінних двигунів [Текст] / Ю. М. Терещенко, Л. Г. Бойко, Л. Г. Волянська, С. О. Дмитрієв, В. В. Панін. К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 500с.
4. Гольцов, А. С. Методы оптимизации и адаптивного управления в машиностроении [Текст] / А. С. Гольцов. – Волгоград: ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2009. – 168 с.
5. Моделювання САК ГТД і їх функціональних елементів : навч. посібник по лаб. практикуму [Текст] / С. В. Єпіфанов, Д. Ф. Сибірський, Р. Л. Зеленський. – Х. : Нац аерокосм. ун-т «ХАІ». 2006. – 65 с.
6. 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.
7. Гільчук, А. В. Теорія теплопровідності. Частина I : навч. посібник [Текст] / А. В. Гільчук, А. А. Халатов. – К.: Нац. Техн. Ун-т «Київський політехн. ін-т». 2017. – 86 с.
8. Проектування технологічних процесів імпульсного оброблення методами синтезу і адресації. Навч. посіб / В. В. Третяк, А. В. Онопченко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 72 с.

9. Проектування технологічних процесів у САПР ТП. Навч. посіб. В. В. Третяк, В. Д. Сотников, С. В. Худяков, І. В. Скорченко. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 80 с.
10. Литвин, В.В. Інтелектуальні системи. Підручник / В.В. Литвин, В.В. Пасічник, Ю.В. Яцишин. – Львів. «Новий світ». – 2009. – 406 с.
11. Пасічник В.В. Сховища даних.. Навчальний посібник / В.В. Пасічник, Н.Б. Шаховська.– Львів. «Магнолія». – 2008. – 496 с.
12. Берко, А. Ю. Системи Баз даних та знань. Книга 1. Організація баз даних і знань. Посібник./ А.Ю. Берко, О.М. Верес, В. В. Пасічник – Львів. «Магнолія». – 2008. – 456 с.

Допоміжна

1. Томашевський, В. М. Моделювання систем [Текст] / В. М. Томашевський. К.: Видавнича група ВНУ. 2005. – 325 с.
2. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1 : навчальний посібник [Текст] / Р. Н. Кветний, І. В. Богач, О. Р. Бойко, О. Ю. Софіна, О. М. Шушура; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 193 с.
3. Виклюк, Я. І. Моделювання складних систем: посібник [Текст] / Я. І. Виклюк, Р. М. Камінський, В. В. Пасічник – Львів: Видавництво «Новий Світ – 2000», 2020. – 404 с.
4. Третяк, В. В. Можливості програмного комплексу для проектування імпульсних технологій методами «Найближчого сусіда». Матеріали XXIV міжнародного конгресу авіадвигунобудівників. Тези доповіді. / В. В. Третяк, А.В. Онопченко. Матеріали XXIV міжнародного конгресу авіадвигунобудівників. Тези доповіді. 2019 р. стор. 95.
5. Третяк, В. В. Особливості моделювання штампового оснащення для імпульсних технологій в базах знань з використанням алгоритмів структурного і параметричного синтезу / В. В. Третяк, В. Ф. Сорокін, К. В. Бондарева Матеріали XXIII міжнародного конгресу авіадвигунобудівників. Тези доповіді. 2018 р. стор. 85.
6. Третяк В. В. Реалізація проектування елементів оснащення для імпульсного штампування в системі Edit Object / Матеріали XXIV міжнародного конгресу авіадвигунобудівників. Тези доповіді. 2018 р. стор. 85.
7. Богуслаев В.А., Качан А.Я., Долматов А.И., Мозговой В.Ф., Корневский Е.Я. Технология производства авиационных двигателей. 4.1, Основы технологии. – Запорожье, изд. ОАО «Мотор - Сич», 2007 г. – 518 с.
8. Богуслаев В.А., Качан А.Я., Яценко В.К., Долматов А.И., Богуслаев А.В., Мозговой В.Ф., Корневский Е.Я., Титов В.А. Ч.3. Методы обработки деталей авиационных двигателей – Запорожье, изд. ОАО «Мотор - Сич», 2008 г. – 638 с.
9. Богуслаев В.А., Качан А.Я., Долматов А.И., Мозговой В.Ф., Корневский Е.Я. Технология производства авиационных двигателей. 42. Основы проектирования технологических процессов изготовления деталей авиационных «двигателей и технологическая подготовка производства. – Запорожье. Изд. ОАО «Мотор-Сич», 2007. – 557 с.

13. Інформаційні ресурси

Електронне посилання на НМЗД

http://library.khai.edu/library/fulltexts/doc/_01S_Modelyuvannya1.pdf