

143

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

Кафедра технології виробництва літальних апаратів (№ 104)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми


(підпис)

І.В. Бичков
(ініціали та прізвище)

« 30 » 08 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Основи моделювання технологічних процесів

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

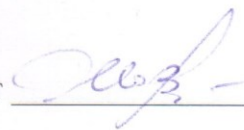
Освітня програма: Технологія виробництва і ремонту літальних апаратів

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2021 рік

Розробник: Шипуль О. В., доцент, канд. техн. наук, доцент



Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри № 104
«Технологія виробництва літальних апаратів»

Протокол № 1 від «_26_» __08__ 2021 р.

Завідувач кафедри, д.т.н., ст.н.с.



Бичков І. В.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 4	Галузь знань 13 Механічна інженерія (шифр і найменування) Спеціальність 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка Освітня програма Технологія виробництва і ремонту літальних апаратів Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)	<i>Вибіркова</i>
Кількість модулів – 1		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		2021/2022
Індивідуальне завдання – Розрахункова робота (назва)		Семестр
Загальна кількість годин – 56 / 120		7-й
		Лекції*
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3,5 самостійної роботи студента – 4		32 години
		Практичні, семінарські*
		24 годин
		Лабораторні*
		0 годин
		Самостійна робота
		64 години
		Вид контролю
	залік	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 56 / 64.

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

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: надання знань та тренування навичок побудови скінченно-елементних моделей, формулювання фізичних граничних та початкових умов процесів. Розвинення вмінь створення комп'ютерних моделей та розрахунків за їх допомогою параметрів технологічних процесів.

Завдання: формування у студентів уяви про загальні принципи, методи та процедури комп'ютерного моделювання технологічних процесів виготовлення деталей аерокосмічної техніки. Формування та розвинення вмінь роботи в середовищі пакетів МСЕ.

Компетентності, які набуваються:

Загальні

- ЗК1. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
- ЗК4. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- ЗК5. Здатність працювати у команді.
- ЗК6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- ЗК8. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Фахові

- ФК6. Здатність розробляти і реалізовувати технологічні процеси виробництва елементів та об'єктів авіаційної техніки.
- ФК10. Здатність використання новітніх інтегрованих комп'ютерних технологій при створенні (виробництві) авіаційної техніки.

Очікувані результати навчання:

- ПРН1. Вільно спілкуватися усно і письмово державною та іноземною мовами з професійних питань.
- ПРН3. Володіти засобами сучасних інформаційних та комунікаційних технологій в обсязі, достатньому для навчання та професійної діяльності.
- ПРН4. Пояснювати свої рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і нефахівцям в ясній і однозначній формі.

Зокрема студент повинен

знати:

- види й загальні принципи моделювання;
- основні положення методів моделювання фізичних процесів;
- основні положення методів скінчених елементів;
- прийоми побудови або імпорту геометрії розрахункової моделі;
- принципи дискретизації розрахункових моделей;
- основні положення явного й неявного методів збіжності розрахунків;
- закони взаємодії елементів технологічних систем виробничих процесів

вміти:

- формувати математичні моделі фізичних процесів, відповідних до досліджуваних технологій;
- формувати граничні й початкові умови досліджуваних процесів;
- визначати значущі фактори дослідження технологічних процесів;

мати навички:

- проводити скінчено-елементний аналіз процесів за допомогою інтегрованих програм МСЕ;
- складання технічних звітів про проведення числових експериментів.

Пререквізити – фізика; вища математика; програмування та методи обчислень; інженерні основи об'ємного моделювання; механіка матеріалів та конструкцій.

Кореквізити – Ресурс та довговічність авіаційної техніки Моделювання об'єктів авіаційної техніки.

3. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1. *Методи моделювання технологічних процесів*

Тема 1. Основні поняття і визначення моделювання. Основні види моделювання: емпіричне, фізичне й математичне (комп'ютерне).

Введення: мета та задачі вивчення дисципліни. Основні визначення моделювання. Терміни модель та моделювання, рішення, елементи рішення та їх оптимізація. Основні види моделювання: емпіричне, фізичне й математичне (комп'ютерне). Роль комп'ютерного моделювання при вирішенні задач оптимізації параметрів технологічних процесів.

Тема 2. Формулювання задачі дослідження. Етапи комп'ютерного моделювання. Побудова моделі досліджуваного процесу. Визначення властивостей й моделей матеріалів.

Опис й формулювання задачі. Етапи комп'ютерного моделювання: побудова твердотільної моделі, визначення моделі матеріалів, побудова дискретних моделей, визначення початкових й граничних умов, визначення виду навантажень й відповідної розрахункової схеми. Варіанти побудови твердотілої моделі: за допомогою існуючих графічних модулів (за допомогою булевих операцій набору готових примітивів / за допомогою послідовного ієрархічного побудови, починаючи з опорних точок, потім - ліній, сплайнів і далі до твердого тіла) та у вигляді імпорту моделей. Існуючі бази даних щодо визначення й опису властивостей та адекватної поведінки матеріалів досліджуваного процесу.

Модульний контроль

Змістовний модуль 2. Числовий експеримент та аналіз отриманих результатів.

Тема 1. Побудова дискретних моделей: розбиття моделей на скінченні елементи (об'єми).

Чотири основних способи генерації сітки. Метод екструзії, створення впорядкованої сітки, створення довільної сітки і адаптивна побудова. Перетворення областей двовимірної сітки в тривимірні об'єкти. Побудова впорядкованої сітки. Розбиття моделі на окремі складові частини з простою геометрією. Використання довільної сітки. Опції генераторів довільної сітки в частині управління якістю сітки. Адаптивна побудова сітки та автоматична генерація сітки (зміна розміру сітки). Оцінки помилки за рахунок сіткової дискретизації.

Тема 2. Визначення крайових (початкових й граничних) умов досліджуваних процесів. Визначення навантажень: зусиль, тиску, температурних полів тощо.

Початкові та граничні умови – додаток до основного диференціального рівняння, що задає поведінку в початковий момент часу або на границі області що розглядається. Задача Коші; крайова задача; граничні умови для електромагнітного поля; умови ідеального теплового контакту; коректно поставлена задача.

«Навантаження» як граничні умови і зовнішні або внутрішні силові функції. Приклади навантажень в різних видах аналізу. Статичний: зсув, сила, тиск, температура, гравітація. Тепловий: температура, тепловий потік, конвекція, енерговиділення, нескінченна поверхню. Магнітний: магнітні потенціали, магнітний потік, щільність потоку, нескінченна поверхню. Електричний: напруга, струм, розряди, щільність розряду, нескінченна поверхню. Рідина: швидкість, тиск. Шість категорій навантаження: умови закріплення, зосереджені навантаження, поверхневі, об'ємні, інерційні і сполучені.

Тема 3. Розрахунок задачі дослідження.

Опції кроку навантаження для організації масивів вихідних величин, управління збіжністю рішення і звичайного визначення навантажень на кроці навантаження. Завдання додаткових, більш дрібних, кроків в межах одного кроку. Визначення умов-обмежень для вказівки допустимих меж зміни ступенів свободи у вузлах моделі.

Тема 4. Аналіз отриманих результатів. Візуалізація результатів дослідження.

Постпроцесорна обробка звернення до результатів рішення і інтерпретація їх потрібним чином. Результати рішення: значення переміщень, температур, напруг, деформацій, критичних сил, власних частот коливань, коефіцієнтів інтенсивності напружень і т.п. Підсумком роботи програми може бути як графічне, так і табличне представлення результатів. Графічне зображення можна вивести на монітор в інтерактивному режимі, перетворити у файли з різними розширеннями (це формати BMP, JPEG та ін), які повністю сумісні з

іншими додатками і можуть бути виведені на друк. На стадії отримання рішення результати записуються в базу даних програми та в так званий файл результатів. Результати, отримані на кожному додатковому кроці рішення, накопичуються як набори даних.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назва змістовного модуля і тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовний модуль 1. Методи моделювання технологічних процесів					
Тема 1. Основні поняття і визначення моделювання. Основні види моделювання: емпіричне, фізичне й математичне (комп'ютерне).	16	4	4		8
Тема 2. Формулювання задачі дослідження. Етапи комп'ютерного моделювання. Побудова моделі досліджуваного процесу. Визначення властивостей й моделей матеріалів.	24	8	4		12
Модульний контроль	2	2			
Разом за змістовним модулем 1	42	14	8		20
Змістовний модуль 2. Числовий експеримент та аналіз отриманих результатів					
Тема 1. Побудова дискретних моделей: розбиття моделей на скінченні елементи (об'єми).	20	4	4		12
Тема 2. Визначення крайових (початкових й граничних) умов досліджуваних процесів. Визначення навантажень: зусиль, тиску, температурних полів тощо.	20	4	4		12
Тема 3. Розрахунок задачі дослідження.	16	2	4		10
Тема 4. Аналіз отриманих результатів. Візуалізація результатів дослідження.	20	6	4		10
Модульний контроль	2	2			
Разом за змістовним модулем 2	78	18	16		44
Усього годин	120	32	24		64

5. Теми семінарських занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
-------	------------	-----------------

1		
	Разом	

6. Теми практичних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вивчення основних можливостей системи SuperForge і моделювання процесу осадки циліндра	4
2	Моделювання технологічного процесу облойної об'ємної штамповки	4
3	Моделювання процесів виникнення дефектів в поковці при закритій штамповці	4
4	Об'ємна штамповка у відкритих й закритих штампах із попереднім нагрівом заготовки	4
5	Моделювання процесів об'ємної штамповки у в тривимірній постановці	4
6	Моделювання процесу екструзії валками	4
	Разом	24

7. Теми лабораторних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	Разом	

8. Самостійна робота

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Критичний аналіз існуючих видів моделювання (Тема 1)	8
2	Функціональні можливості скінченно-елементного пакету ANSYS в єдиному середовищі моделювання ANSYS Workbench (вирішення на одній скінченно-елементній моделі задач з міцності, теплу, електромагнетизму, гідрогазодинаміці, багатодисциплінарного зв'язаного аналізу й оптимізації на основі усіх вище наведених типів аналізу) (Тема 2)	12
3	Граничні умови 1 роду (задача Діріхле); граничні умови 2 роду (задача Неймана); граничні умови 3 роду (задача Робена); (Тема 3)	12
4	Зміна значення навантаження стрибком за один крок моделювання різкого навантаження при аналізі перехідних, нестационарних процесів. (Тема 4)	12
5	Зміна властивості матеріалу і атрибутів кінцевого елемента, наприклад, товщини, активація або деактивація елемента (опції "е" - birth або "ні" - death) (Тема 5)	10

6	Можливість створення AVI-файлів представлення результатів щодо спостереження рухомих процесів. (Тема 6)	10
	Разом	64

9. Індивідуальні завдання

Розрахункова робота на тему: *Визначення параметрів навантаження скінченно-елементних моделей технологічних систем притаманних певному технологічному процесу (наприклад, осаджування, згинання, фрезерування, свердління, наплавлення, зварювання тощо).*

10. Методи навчання

Словесні: розповідь, пояснення, навчальна дискусія під час проведення лекцій; наочні: ілюстрування й демонстрація презентацій під час проведення лекцій; практичні: лабораторні роботи.

11. Методи контролю

Поточний контроль під час проведення лабораторних робіт шляхом опитування за контрольними питаннями.

Семестровий контроль – залік.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. 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...1	6	0...6
Робота на практичних заняттях	3...4	4	12...16
Модульний контроль	8...10	1	8...10
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	10	0...10
Робота на практичних заняттях	3...4	8	24...32
Модульний контроль	8...10	1	8...10
Виконання і захист РР	8...16	1	8...16
Усього за семестр			60...100

Семестровий контроль (залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту/заліку. Під час

складання семестрового заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для заліку складається з одного теоретичного питання й одного практичного завдання. Максимальна кількість балів за повну відповідь на теоретичне питання становить 40 балів. Максимальна кількість балів за вірне виконання практичного завдання становить 60 балів.

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- визначення термінів модель, моделювання, рішення, елементи рішення та їх оптимізація.
- основні види моделювання: емпіричне, фізичне й математичне (комп'ютерне).
- етапи комп'ютерного моделювання: побудова твердотільної моделі, визначення моделі матеріалів, побудова дискретних моделей, визначення початкових й граничних умов, визначення виду навантажень й відповідної розрахункової схеми.
- чотири основних способи генерації сітки: метод екструзії, створення впорядкованої сітки, створення довільної сітки і адаптивна побудова оцінки помилки за рахунок сіткової дискретизації.
- перелік типів початкових й граничних умов. Приклади навантажень в різних видах аналізу.
- опції кроку навантаження для організації масивів вихідних величин, управління збіжністю рішення і звичайного визначення навантажень на кроці навантаження.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- формулювати математичні моделі фізичних процесів, відповідних до досліджуваних технологій;
- формулювати граничні й початкові умови досліджуваних процесів; визначати значущі фактори дослідження технологічних процесів
- завдання основного кроку навантаження й додаткових, більш дрібних, кроків в межах одного кроку.
- визначення умов-обмежень для вказівки меж зміни ступенів свободи у вузлах моделі.
- постпроцесорна обробка: звернення до результатів рішення і інтерпретація їх потрібним чином.

12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи та індивідуальне завдання. Вміти самостійно побудувати просту скінчено-елементну модель технологічного процесу,

використовуючи автоматичні налаштування програми скінчено-елементного аналізу, наприклад Super_Forge. Вміти самостійно виводити на екран результати розрахунку.

Добре (75 - 89). Твердо знати та вміти виконувати усі етапи комп'ютерного моделювання технологічного процесу, використовуючи автоматичні налаштування програми скінчено-елементного аналізу, наприклад Super_Forge. Показати вміння вносити корегування у разі незадовільної побудови розрахункової моделі за автоматичними налаштуваннями використовуваної програми. Вміти пояснювати результати розрахунку. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи та індивідуальне завдання в обумовлений викладачем строк.

Відмінно (90 - 100). Повно знати основний та додатковий матеріал дисципліни. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Вміти самостійно будувати скінчено-елементні моделі досліджуваних процесів. Обґрунтовано приймати рішення про дискретизацію розрахункової області, призначення граничних й початкових умов навантаження системи. Визначати крок розрахунку. Вміти аналізувати отримані результати й мати уявлення про шляхи їх оптимізації. Безпомилково виконати та захистити всі лабораторні роботи та індивідуальне завдання в обумовлений викладачем строк з докладним обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах.

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

13. Методичне забезпечення

Інженерний аналіз елементів технологічного оснащення з використанням системи COSMOSWorks: навч. посібник до лабораторного практикуму / О.А. Павленко, В.Є. Зайцев, В.В. Борисевич; Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2008. – 54 с.

Навчально-методичне забезпечення дисципліни "Основи моделювання технологічних процесів"

http://library.khai.edu/catalog?clear_all_params=0&mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&themes_basket=&ttp_themes_basket=&ext=no&theme_path=0&author_fld=&docname_fld=&docname_cond=1&year_fld1=&year_fld2=&udc_fld=&isbn_fld=&lang_list=0&pubplace_fld=&publisher_fld=&bbc_fld=&issn_fld=&annotation_fld=&volume_fld=&part_fld=&responsibility_fld=&theme_cond=all_theme&litttype_list=0&theme_list=0&disciplinesearch=yes&discipline_list=0&tpage=1&step=100&faculty_list=0&department_list=0&speciality_list=0&knmz_doctype_list=39%2C40&speciality_knmz_list=27565&sillabus_list=27578&knowledgearea_list=27554&qual

ificationlevel_list=27469&initiator_mode=KNMZ&full_searchfld=&ecopy=0&combiningAND=1
&is_ttp=0&print_basket=%2C&docid=510530863&doctoselect=0&doctoselect=0

14. Рекомендована література

Базова

1. Гліненко, Л.К. Основи моделювання технічних систем: Навч. посібник/ Л.К.Гліненко, О.Г. Сухоносів. – Львів: Бескид Біт, – 2003. – 176 с.
2. Стеценко, І.В. Моделювання систем: навч. посібник/ І.В. Стеценко.– Черкаси: ЧДТУ, 2010.– 399 с.
3. Советов Б. Я. Моделирование систем: Учеб. для вузов / Б.Я. Советов, С. А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.
4. Методы моделирования стохастических систем управления: Учеб. пособие/ В. Ю. Емельянов. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2004. – 168 с.
5. Зайцев В.Ф. Математические модели в точных и гуманитарных науках. – СПб.: ООО «Книжный Дом», 2006. – 112 с.
6. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
7. Легостаєв А.Д. Метод скінченних елементів: Конспект лекцій. – К.: КНУБА, 2004. – 112с.

Допоміжна

1. Толуев Ю.И. Моделирование и симуляция логистических систем/ Ю.И. Толуев, С.И. Планковский. – Киев: «Миллениум», 2009. – 85 с.
2. Бахрушин, В.Є. Математичне моделювання: навч. посібник/ В.Є Бахрушин. – Запоріжжя: ГУ ЗІДМУ, 2004. – 140 с.
3. Майер Р.В. Компьютерное моделирование физических явлений: Монография/ Р.В. Майер. – Глазов: ГГПИ, 2009. – 112 с.
4. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация: Пер с англ./ О. Зенкевич, К. Морган. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
5. Вабищевич П.Н. Численное моделирование. –М.: МГУ, 1993. – 152 с.

15. Інформаційні ресурси

1. <https://cadfem.com.ua/materials/>
2. <https://www.ansys.soften.com.ua/>