

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
(найменування центрального органу виконавчої влади у сфері освіти і науки)
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра Технології машинобудування

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Ректор (перший проректор)

“ ” 2021 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОКПП 09 Твердотільне моделювання і основи інженерних розрахунків

(код і назва навчальної дисципліни)

спеціальність 131 Прикладна механіка

(код і назва спеціальності)

освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування

(назва спеціалізації)

інститут, факультет Машинобудівний

(назва інституту, факультету)

мова навчання Українська

Робоча програма ОКПІ 09 Твердотільне моделювання і основи інженерних розрахунків
(назва навчальної дисципліни)
для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка,
освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування.
(назва спеціалізації)

„10” серпня, 2021 року- 11 с.

Розробники: доц., к.т.н. Степанов Дмитро Миколайович
(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри
Технології машинобудування

Протокол від “27” серпня 2021 року № 1

Завідувач кафедри «Технології машинобудування», канд. техн. наук, доц. _____ (Дядя С.І.)
(підпис) (прізвище та ініціали)
“ _____ ” _____ 20__ року

Схвалено науково-методичною комісією машинобудівного факультету

Протокол від. “02” вересня 2021 року № 1

“ _____ ” _____ 2020 року Голова _____ (Глушко В.І.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Узгоджено групою забезпечення освітньої програми* _____

“ _____ ” _____ 20__ року Керівник групи _____ (_____)
(підпис) (прізвище та ініціали)

*Якщо дисципліна викладається невідпусковою кафедрою

© _____, 20__ рік
© _____, 20__ рік

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітній ступінь	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 4,5	Галузь знань 13 Механічна інженерія	За вибором ВНЗ	
Модулів – 1	Спеціальність (освітня програма, спеціалізація): 131 Прикладна механіка (Технології машинобудування)	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 3		4-й	4-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання (назва)		Семестр	
Загальна кількість годин - 135		6-й	6-й
		Лекції	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи студента – 3,5	Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр	14 год.	4 год.
		Практичні, семінарські	
		год.	год.
		Лабораторні	
		28 год.	6 год.
		Самостійна робота	
		90 год.	80 год.
		Індивідуальні завдання: год.	
Вид контролю: залік			

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 0,9

для заочної форми навчання – 0,125

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета дисципліни – «Твердотільне моделювання та основи інженерних розрахунків» – інженерна дисципліна, мета якої навчити фахівців з спеціальності 131 «Прикладна механіка» теоретичним та практичним основам чисельних методів розрахунків деталей машин, зокрема газотурбінних двигунів (ГТД), за допомогою програмного пакету ANSYS.

Завдання вивчення дисципліни. Загальним завданням курсу є підготовка висококваліфікованих фахівців, добре володіючих на сучасному рівні теоретичними основами і методами вирішення та забезпечення міцності надійності елементів конструкцій деталей машин та основами розрахунку на міцність методом кінцевих елементів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати **загальні компетентності**: ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. ЗК3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми. ЗК4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ЗК5. Здатність працювати

в команді. ЗК6. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків. ЗК7. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. ЗК12. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. ЗК13. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт; **фахові компетентності:** ФК1. Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки. ФК2. Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкцій і процесів, в тому числі і за наявності деякої невизначеності. ФК 5. Здатність використовувати аналітичні та чисельні математичні методи для вирішення задач прикладної механіки, зокрема здійснювати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість в процесі статичного та динамічного навантаження з метою оцінки надійності деталей і конструкцій машин. ФК 7. Здатність застосовувати комп'ютеризовані системи проектування (CAD), виробництва (CAM), інженерних досліджень (CAE) та спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань з прикладної механіки. ФК 8. Здатність до просторового мислення і відтворення просторових об'єктів, конструкцій та механізмів у вигляді проєкційних креслень та тривимірних геометричних моделей; **очікувані програмні результати навчання:** ПРН3. Виконувати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість деталей машин. ПРН4. Оцінювати надійність деталей і конструкцій машин в процесі статичного та динамічного навантаження. ПРН12. Навички практичного використання комп'ютеризованих систем проектування (CAD), підготовки виробництва (CAM) та інженерних досліджень (CAE).

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

3.1 Перший блок змістових модулів

Змістовий модуль 1. Вступ. Загальні відомості, основні поняття

Тема 1 Міцнісна надійність елементів виробів машинобудування. Структура моделей міцнісної надійності

Структура моделей міцнісної надійності, її рівні та складові, їх взаємозв'язок. Сучасні підходи до аналізу конструкцій деталей на міцність, особливо деталей складної форми, складнонавантажених конструкцій, до чисельного дослідження міцності деталей. Етапи рішень інженерних задач та міцностного аналізу. Моделювання різних рівнів. Надійність. Критерії надійності, ймовірність неруйнування, коефіцієнт запасу міцності.

[3] с.17...19; [12]; [18]

Тема 2 Основи методу кінцевих елементів. Пакет кінцево-елементного аналізу ANSYS

Теоретичні основи чисельних методів. Метод кінцевих елементів. ANSYS – програма кінцево-елементного аналізу. Модулі системи ANSYS. Галузі застосування. Інтерфейс користувача. Графічні можливості. Процесори. База даних. Формат файлів. Імпорт геометричних моделей з CAD систем. Імпорт IGES, SAT, Parasolid. Програми трансляції.

[3] с.11...32; [6] с.10...16; [5] с.3...10; [10] с.3...6

Змістовий модуль 2. Основи розрахунку на міцність методом кінцевих елементів за допомогою пакета ANSYS

Тема 3 Створення моделей форми деталей машин. Спадне та висхідне твердотільне моделювання. Моделі навантаження

Моделі форми деталей машин. Приклади. Спрощення при моделюванні. Моделі навантаження. Види навантажень (зосереджені, поверхневі, масові, інерційні тощо). Способи їх прикладення. Твердотільне моделювання в системі ANSYS. Спадне моделювання (примітиви, робоча площа, бульові операції). Висхідне моделювання (крапки, координатні системи, лінії, поверхні,

об'єми, дії). Функції та команди.

[3] с.12...13, 22...28; [5] с.27...43; [7] с.49...77, 105...41; [9] с.31...33; [10] с.15...17

Тема 4 Кінцеві елементи. Створення кінцево-елементної моделі. Вплив кількості КЕ на точність розрахунку

Особливості. Створення сіток кінцевих елементів (КЕ). Типи КЕ. Атрибути кінцевих елементів. Створення регулярної сітки КЕ. Створення нерегулярної („вільної“) сітки кінцевих елементів. Видавлювання сітки. Протягування сітки. Керування густотою сітки. Зміна сітки, методи згущення сітки.

[5] с.77...78; [7] с.113...129; [9] с.297...311; [10] с.10...11

Тема 5 Опис моделей матеріалу. Білінійні моделі матеріалів. Початкові та граничні умови. Концентрація напружень

Опис моделі матеріалу деталі. Ізотропні, анізотропні, ортотропні матеріали. Лінійні, нелінійні, пружні пластичні та інші моделі матеріалів; чутливі і нечутливі до швидкості деформації матеріали, білінійні моделі матеріалів. Механічні аналоги виду поведінки матеріалів. Початкові умови. Додання граничних умов. Навантаження конструкції. Місця прикладення навантажень. Концентратори напружень в деталях та моделях. Коефіцієнти концентрації напружень.

[5] с.78...89; [7] с.129...149; [9] с.242...276; [11] с.109...127; [18] с.94...105; [19] с.50...74

Тема 6 Отримання рішення. Види представлення отриманих рішень. Обробка результатів. Похибка розрахунку

Обробка результатів рішення, їх різноманіття. Головний постпроцесор (POST1). Види представлення результатів рішення. Графічне подання результатів. Візуалізація за допомогою ліній рівня. Візуалізація деформованого стану. Подання результатів розрахунку у вигляді графіків, таблиць. Відображення даних та їх збереження (кольорових та чорно-білих) у вигляді файлів графічних форматів *.jpg, *.bmp, *.tif та ін. Розрахунок похибок, аналіз отриманих результатів, їх порівняння. Метод підмоделей (submodeling), мета його використання.

[5] с.177...153; [9] с.495...504; [10] с.11...14

Змістовий модуль 3. Види аналізу деталей методом кінцевих елементів в пакеті ANSYS з урахуванням експлуатаційного навантаження

Тема 7 Основні види аналізу деталей машин. Коливання. Змінні навантаження. Гармонічні коливання. Малоциклова та багатоциклова втома. Втомне руйнування. Модальний та гармонічний аналіз

Коефіцієнт запасу міцності, його рекомендоване значення для різних груп деталей, різної відповідальності, працездатності. Основні види аналізу деталей машин. Розрахунок на міцність. Види коливань. Змінні навантаження, довговічність, цикли навантажень, крива втомленості, границя витривалості. Гармонічні коливання, основні поняття – період, амплітуда, максимальні та мінімальні напруження; види – віднульові, симетричні, несиметричні тощо. Малоциклова та багатоциклова втома. Втомні руйнування. Модальний аналіз, його мета. Моді коливань. Власна частота конструкцій. Гармонічний аналіз. Явище резонансу, визначення причин, способи уникнення. Основні види розрахунків чисельними методами в машинобудуванні. Основні типи деталей, що підлягають перевірці.

[10] с.65...71; [16] с.135...161; [18] с.451...634

Тема 8 Термічні навантаження деталей машин. Термічний аналіз. Особливості завдання властивостей матеріалу, початкових граничних термічних умов. Стаціонарний термічний аналіз

Термічне навантаження деталей машин. Особливо відповідальні деталі, які вивчають з урахуванням експлуатаційних температур, на прикладі деталей авіаційних двигунів: лопаток, валів, дисків. Термічний аналіз. Завдання розширених, в тому числі і термічних, властивостей матеріалу. Особливості завдання початкових граничних термічних вимог. Стаціонарний термічний аналіз. Різні види прикладення термограничних умов: точкові, лінійні джерела тепла, теплові потоки, температура зовнішнього середовища, вихідна температура конструкцій, ізолювання тепла, ізотерміч-

ні поверхні в ANSYS.

[19] с.112...120, 177...184

Тема 9 Термоміцностний аналіз деталей машин, що експлуатуються при високих температурах, зокрема деталей ГТД. Нестационарний термічний аналіз

Термоміцностний аналіз деталей машин, що експлуатуються при високих температурах. Два підходи до термоміцностного аналізу. Головні етапи. Особливості КЕ термічного аналізу. Нестационарний термічний аналіз. Статичний і динамічний термоміцностний аналіз. Щільність теплового потоку. Картини розподілу температур в об'ємах моделей. Аналіз отриманих результатів. Графіки залежностей температури в окремо взятих місцях моделі від часу впливу температури та навантаження з урахуванням змінних властивостей матеріалів.

[18] с.249...257; [19] с.151...177

Тема 10 Напружено-деформований стан (НДС) деталей. Тензор напружень, тензор деформацій. Нормальні напруження. Лінійні, плоскі, об'ємні НДС, їх різновиди. Використання на практиці

Напружено-деформований стан (НДС) деталей. Тензор напружень, тензор деформацій. Нормальні напруження. Дотичні напруження. Лінійні, плоскі, об'ємні НДС, їх різновиди. Однородні НДС. Деформації, їх складові, та різновиди. Загальний закон Гука. Модуль пружності Юнга, коефіцієнт Пуассона. Моделі руйнування деталей машин. Їх типи. Використання на практиці. Основи застосування мови параметричного моделювання (APDL).

[18] с.70...86

4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістові модулі (теми)	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи	Індивідуальна робота	Самостійна робота		Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи	Індивідуальна робота	Самостійна робота
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1. Вступ. Загальні відомості, основні поняття												
Тема 1. Міцнісна надійність елементів виробів машинобудування. Структура моделей міцнісної надійності.	12	2	—	2	—	10	12	1	—	2	—	4
Тема 2. Основи методу кінцевих елементів. Пакет кінцево-елементного аналізу ANSYS	16	2	—	2	—	14	10	—	—	—	—	4
Разом за змістовим модулем 1	28	4	—	4	—	24	22	1	—	2	—	8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 2. Основи розрахунку на міцність методом кінцевих елементів за допомогою пакета ANSYS												
Тема 3. Створення моделей форми деталей машин. Спадне та висхідне твердотільне моделювання. Моделі навантаження.	13	1	–	4	–	10	12	–	–	–	–	8
Тема 4. Кінцеві елементи. Створення кінцево-елементної моделі. Вплив кількості КЕ на точність розрахунку.	11	1	–	2	–	10	10	–	–	–	–	4
Тема 5. Опис моделей матеріалу. Білінійні моделі матеріалів. Початкові та граничні умови. Концентрація напружень.	11	1	–	2	–	10	10	–	–	–	–	12
Тема 6. Отримання рішення. Види представлення отриманих рішень. Обробка результатів. Похибка розрахунку.	11	1	–	2	–	10	10	1	–	2	–	18
Разом за змістовим модулем 2	46	4	–	10	–	40	42	1	–	2	–	42
Всього за 1-й блок	74	8	–	14	–	64	64	2	–	4	–	50
Термін проведення І-го рубіжного модульного контролю – 9-й тиждень семестру												
Змістовий модуль 3. Види аналізу деталей методом кінцевих елементів в пакеті ANSYS з урахуванням експлуатаційного навантаження												
Тема 7. Основні види аналізу деталей машин. Коливання. Змінні навантаження. Гармонічні коливання. Малоциклова та багатоциклова втома. Втомне руйнування. Модальний та гармонічний аналіз.	12	2	–	4	–	6	8	1	–	2	–	15
Тема 8. Термічні навантаження деталей машин. Термічний аналіз. Особливості завдання властивостей матеріалу, початкових граничних термічних умов. Стаціонарний термічний аналіз.	14	2	–	4	–	8	6	1	–	–	–	5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тема 9. Термоміцностний аналіз деталей машин, що експлуатуються при високих температурах, зокрема деталей ГТД. Нестационарний термічний аналіз.	11	1	–	2	–	8	6	–	–	–	–	5
Тема 10. Напружено-деформований стан (НДС) деталей. Тензор напружень, тензор деформацій. Нормальні напруження. Лінійні, плоскі, об'ємні НДС, їх різновиди. Використання на практиці.	9	1	–	4	–	4	6	–	–	–	–	5
Разом за змістовим модулем 3	46	6	–	14	–	26	26	2	–	2	–	30
Всього за 2-й блок	46	14	–	14	–	26	26	4	–	2	–	30
Термін проведення II-го рубіжного модульного контролю – 18-й тиждень семестру												
Усього годин	120	14	–	28	–	90	90	4	–	6	–	80

5. ТЕМИ СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	-	-

6. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	-	-

7. ТЕМИ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1/1	Основи роботи в ANSYS	2 год.
1/2	Імпортування геометрії моделей з CAD систем, їх особливості	2 год.
1/3	Спадне твердотільне моделювання	2 год.
1/4	Створення сітки кінцевих елементів	2 год.
1/5	Аналіз напружено-деформованого стану деталей машин	2 год.
1/6	Визначення ефективного і теоретичного коефіцієнтів концентрації напружень в деталях машин чисельним методом	4 год.
1/7	Розрахунок на міцність деталей типу дисків	2 год.
2/1	Модальний аналіз деталей на прикладі несучих площин літаків	2 год.

2/2	Аналіз вібраційних характеристик конструкції	2 год.
2/3	Стаціонарний тепловий аналіз	2 год.
2/4	Розрахунок термонапруженого стану пластини	2 год.
2/5	Тепловий розрахунок об'ємної пластини	2 год.
2/6	Нестаціонарний тепловий режим	2 год.
	Разом	28 год.

8. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Складові міцностної надійності	10
2	Використання методу кінцевих елементів	10
3	Різновиди спадного та висхідного моделювання об'єктів	10
4	Сітки кінцевих елементів. Їх використання в моделях різної конструкції	10
5	Відображення властивостей матеріалів в їх моделях. Вплив наявності концентраторів напружень в конструкції на сітку кінцевих елементів моделі	10
6	Види отримання рішень у відповідності до початкової мети розрахунку	10
7	Коливання, зокрема гармонічні коливання. Втомне руйнування	10
8	Термічні навантаження як різновид граничних умов.	10
9	Стаціонарний і нестаціонарний, лінійний і нелінійний термічний аналіз	10
	Разом	90

9. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Для студентів денної форми навчання – підготовка доповіді.

Для студентів заочної форми навчання – контрольна робота.

10. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

Під час викладання курсу використовуються наступні методи навчання:

- розповідь – для оповідної, описової форми розкриття навчального матеріалу;
- пояснення – для розкриття сутності певного явища, закону, процесу;
- бесіда – для усвідомлення за допомогою діалогу нових явищ, понять;
- ілюстрація – для розкриття предметів і процесів через їх символічне зображення (рисунки, схеми, графіки);
- практична робота – для використання набутих знань у розв'язанні практичних завдань;
- аналітичний метод – уявного (практичного) розкладу цілого на частини з метою вивчення їх суттєвих ознак;
- індуктивний метод – для вивчення явищ від одиничного до загального;
- дедуктивний метод – для вивчення навчального матеріалу від загального до окремого, одиничного;
- проблемний виклад матеріалу – для створення проблемної ситуації.

11. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ

Після вивчення курсу студенти повинні знати:

- теоретичні основи розрахунку на міцність деталей машин чисельними методами;
- основи спадного та висхідного твердотілого моделювання;
- основні моделі міцностної надійності деталей машин;

- методи розрахунків на міцність основних елементів конструкції деталей.

Повинні уміти:

- розроблювати твердотільні моделі відповідного типу деталей машин;
- складати розрахункові моделі міцностної надійності деталей машин, зокрема авіаційних двигунів;
- виконувати всі необхідні міцностні розрахунки деталей;
- користуватися науково-технічною та довідковою літературою і проводити теоретичні дослідження в області міцностної надійності деталей;
- виконувати розрахунки на міцність типових деталей машин (валів, дисків, зубчастих коліс тощо) та деталей ГТД (наприклад, лопаток, лопатевих дисків) методом кінцевих елементів з урахуванням термічного навантаження.

12. ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ

Контроль успішності студентів денної форми навчання здійснюється за результатами:

- опитування з кожної теми
- захисту звітів про виконання лабораторних робіт
- двох рубіжних модульних контролів за кожний блок змістовних модулів

Контроль успішності студентів заочної форми навчання здійснюється за результатами:

- захисту звітів про виконання лабораторних робіт
- захисту контрольної роботи
- усного опитування за окремими змістовними модулями

13. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Поточне тестування та самостійна робота										Сума
Змістовий модуль №1		Змістовий модуль №2				Змістовий модуль №3				
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	100
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

T1, T2 ... T9 – теми змістових модулів.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Шкала оцінювання: національна та ECTS			
Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проєкту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		
70-74	D	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

14. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Твердотільне моделювання і основи інженерних розрахунків», частина 1, для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування», галузь знань «Механічна інженерія» / Укл.: Гончар Н.В., Павленко Д.В., Степанов Д.М. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 48 с.

2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Твердотільне моделювання і основи інженерних розрахунків», частина 2, для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування», галузь знань «Механічна інженерія» / Укл.: Гончар Н.В., Павленко Д.В., Степанов Д.М. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 46 с.

3. Файли з розширенням *.avi для ознайомлення з можливостями та галузями застосування пакету ANSYS.

15. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова література

1. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник. Под общ. ред. В.И. Мяченкова / М.: Машиностроение, 1989. – 520 с.
2. Галлагер Р. Метод конечных элементов: Основы / Перевод с англ. – М.: Мир, 1984. – 215 с.
3. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство / М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.
4. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике / М.: Мир, 1975. – 541 с.
5. Гребенников А.Г., Светличный С.П., Король В.Н., Анпилов В.Н. Анализ НДС авиационных конструкций с помощью системы ANSYS, КНХ, 2002. – 433 с.
6. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / М.: Мир, 1979. – 392 с.
7. Басов К.А. Графический интерфейс комплекса ANSYS / М.: ДМК Пресс, 2006. – 248 с.
8. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / М.: Компьютер Пресс, 2002. – 224 с.
9. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ. пособие / М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.
10. Конюхов А.В. Основы анализа конструкций в системе ANSYS / Казань: КГУ, 2001. – 101 с.
11. Югов В.П. Решение задач теплообмена в ANSYS / М.: Техноинжиниринг, 2001. – 110 с.

Допоміжна література

1. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов / М.: Наука, 1986. – 560 с.
2. Маслов Л.Б. Численные методы для решения задач теории упругости: Методическое пособие / Иваново: ИГЭУ, 1999. – 28с.
3. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов / Перевод с англ. – М.: Мир, 1981. – 304 с.
4. Самарский А.А. Введение в численные методы / М.: Наука, 1987. – 459 с.
5. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет деталей / М.: Машиностроение, 1981. – 550 с.
6. Механическое поведение металлов при различных видах нагружения. Справочник / В.Т. Троценко, А.А. Лебедев, В.А. Стрижало и др. / К.: Логос, 2000. – 571 с.
7. Троценко В.Т. и др. Сопротивление материалов деформированию и разрушению. Справочное пособие в 2-х т. / К.: Наукова думка, 1993. –Т.1. – 285 с.

16. ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. Руководство по основным методам проведения анализа в программе ANSYS. Справочное руководство. - www.femdoc.by.ru, 2004. – 512 с.