



Робоча програма ПП 3.14 Твердотільне моделювання і основи інженерних розрахунків  
(назва навчальної дисципліни)  
для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка,  
освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування.  
(назва спеціалізації)

„16” жовтня, 2019 року- 11 с.

Розробники: старш. викл. Степанов Дмитро Миколайович  
(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри  
Технології машинобудування

Протокол від “17” жовтня 2019 року № 4

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. “22” жовтня 2019 року № 2

“23” жовтня 2019 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 невипусковою кафедрою

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітній ступінь	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 3	Галузь знань 13 Механічна інженерія	За вибором ВНЗ	
Модулів – 1	Спеціальність (освітня програма, спеціалізація): 131 Прикладна механіка (Технології машинобудування)	<b>Рік підготовки:</b>	
Змістових модулів – 3		4-й	4-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання <hr style="width: 100%; border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 0;"/> (назва)		<b>Семестр</b>	
Загальна кількість годин - 90		6-й	6-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи студента – 3,5	Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр	<b>Лекції</b>	
		14 год.	4 год.
		<b>Практичні, семінарські</b>	
		год.	год.
		<b>Лабораторні</b>	
		28 год.	6 год.
		<b>Самостійна робота</b>	
		48 год.	80 год.
		<b>Індивідуальні завдання:</b> 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**: здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями; здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; вміння ви-

являти, ставити та вирішувати проблеми; навички використання інформаційних і комунікаційних технологій; здатність виявляти ініціативу, креативність та підприємливість при розробці проектів; здатність до критичного аналізу, оцінки і синтезу нових та складних ідей; здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт; здатність працювати автономно та в команді; **фахові компетентності:** здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у певній галузі професійної діяльності або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій в галузі механічної інженерії та характеризується невизначеністю умов і вимог; здатність моделювати процеси формоутворення поверхонь деталей та заготовок, використовуючи набуті знання та методи математичного моделювання із застосуванням комп'ютерних технологій та програмного забезпечення; здатність удосконалювати існуючі методи досліджень, моделі, алгоритми, процедури; здатність, використовуючи знання форм і методів наукового пізнання, застосовувати їх у галузі механічної інженерії; здатність прогнозувати зміни в технологіях формоутворення деталей та заготовок, використовуючи патентні дослідження, рекомендації і стандарти, світову наукову та технічну літературу; **очікувані програмні результати навчання:** виконання розрахунків на міцність типових деталей машин (валів, дисків, зубчастих коліс тощо) та деталей ГТД (наприклад, лопаток, лопатевих дисків) методом кінцевих елементів з урахуванням термічного навантаження.

### 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 густиною 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. Втоме 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. Втоми руйнування. Модальний аналіз, його мета. Моди 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 Пуасона. 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
<b>Змістовий модуль 1. Вступ. Загальні відомості, основні поняття</b>												
Тема 1. Міцнісна надійність елементів виробів машинобудування. Структура моделей міцнісної надійності.	12	2	–	2	–	4	12	1	–	2	–	4
Тема 2. Основи методу кінцевих елементів. Пакет кінцево-елементного аналізу ANSYS	10	2	–	2	–	9	10	–	–	–	–	4
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>22</b>	<b>4</b>	<b>–</b>	<b>4</b>	<b>–</b>	<b>13</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>–</b>	<b>2</b>	<b>–</b>	<b>8</b>

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Змістовий модуль 2. Основи розрахунку на міцність методом кінцевих елементів за допомогою пакета ANSYS</b>												
Тема 3. Створення моделей форми деталей машин. Спадне та висхідне твердотільне моделювання. Моделі навантаження.	12	1	–	4	–	6	12	–	–	–	–	8
Тема 4. Кінцеві елементи. Створення кінцево-елементної моделі. Вплив кількості КЕ на точність розрахунку.	10	1	–	2	–	4	10	–	–	–	–	4
Тема 5. Опис моделей матеріалу. Білінійні моделі матеріалів. Початкові та граничні умови. Концентрація напружень.	10	1	–	2	–	4	10	–	–	–	–	12
Тема 6. Отримання рішення. Види представлення отриманих рішень. Обробка результатів. Похибка розрахунку.	10	1	–	2	–	3	10	1	–	2	–	18
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>42</b>	<b>4</b>	<b>–</b>	<b>10</b>	<b>–</b>	<b>17</b>	<b>42</b>	<b>1</b>	<b>–</b>	<b>2</b>	<b>–</b>	<b>42</b>
<b>Всього за 1-й блок</b>	<b>64</b>	<b>8</b>	<b>–</b>	<b>14</b>	<b>–</b>	<b>30</b>	<b>64</b>	<b>2</b>	<b>–</b>	<b>4</b>	<b>–</b>	<b>50</b>
Термін проведення I-го рубіжного модульного контролю – 9-й тиждень семестру												
<b>Змістовий модуль 3. Види аналізу деталей методом кінцевих елементів в пакеті ANSYS з урахуванням експлуатаційного навантаження</b>												
Тема 7. Основні види аналізу деталей машин. Коливання. Змінні навантаження. Гармонічні коливання. Малоциклова та багатоциклова втома. Втомне руйнування. Модальний та гармонічний аналіз.	8	2	–	4	–	8	8	1	–	2	–	15
Тема 8. Термічні навантаження деталей машин. Термічний аналіз. Особливості завдання властивостей матеріалу, початкових граничних термічних умов. Стаціонарний термічний аналіз.	6	2	–	4	–	4	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.	6	1	–	2	–	3	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.	6	1	–	4	–	3	6	–	–	–	–	5
<b>Разом за змістовим модулем 3</b>	<b>26</b>	<b>6</b>	<b>–</b>	<b>14</b>	<b>–</b>	<b>18</b>	<b>26</b>	<b>2</b>	<b>–</b>	<b>2</b>	<b>–</b>	<b>30</b>
<b>Всього за 2-й блок</b>	<b>26</b>	<b>14</b>	<b>–</b>	<b>14</b>	<b>–</b>	<b>18</b>	<b>26</b>	<b>4</b>	<b>–</b>	<b>2</b>	<b>–</b>	<b>30</b>
Термін проведення II-го рубіжного модульного контролю – 18-й тиждень семестру												
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>14</b>	<b>–</b>	<b>28</b>	<b>–</b>	<b>48</b>	<b>90</b>	<b>4</b>	<b>–</b>	<b>6</b>	<b>–</b>	<b>80</b>

### 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	4
2	Використання методу кінцевих елементів	5
3	Різновиди спадного та висхідного моделювання об'єктів	5
4	Сітки кінцевих елементів. Їх використання в моделях різної конструкції	4
5	Відображення властивостей матеріалів в їх моделях. Вплив наявності концентраторів напружень в конструкції на сітку кінцевих елементів моделі	4
6	Види отримання рішень у відповідності до початкової мети розрахунку	4
7	Коливання, зокрема гармонічні коливання. Втомне руйнування	8
8	Термічні навантаження як різновид граничних умов.	6
9	Стаціонарний і нестаціонарний, лінійний і нелінійний термічний аналіз	8
	Разом	48

## 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 (рисунок, 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 міцнісні 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

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проєкту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
85-89	<b>B</b>	добре	
75-84	<b>C</b>		
70-74	<b>D</b>	задовільно	
60-69	<b>E</b>		
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	<b>F</b>	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», 2019. – 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», 2019. – 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, КНК, 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. Соппротивление 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. Трощенко, А.А. Лебедев, В.А. Стрижало и др. / К.: Логос, 2000. – 571 с.
7. Трощенко В.Т. и др. Соппротивление 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](http://www.femdoc.by.ru), 2004. – 512 с.