МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Машинобудівний навчально-науковий інститут
(повна назва підрозділу)

Кафедра інженерної механіки та технології машинобудування
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-педагогічної роботи

_____ Слободян С.О.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

Комплексна автоматизація управління виробництвом в машинобудуванні з використанням CAE систем

Complex automation of production management in mechanical engineering using CAE Systems

рівень вищої освіти другий, магістерський

тип дисципліни вибіркова

мова(и) викладання українська

Миколаїв – 2023

Робоча програма навчальної дисципліни **«Комплексна автоматизація управління виробництвом в машинобудуванні з використанням CAE систем»** як вибіркового курсу є однією із можливих складових комплексної підготовки фахівців усіх спеціальностей та освітніх програм технічного спрямування, за якими ведеться підготовка в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова

"20" 04 2023 року. -15 с.

Розробник: Моргун Сергій Олександрович, доцент кафедри Інженерної механіки та технології машинобудування, канд. техн. наук, доцент.

Проект робочої програми навчальної дисципліни «**Комплексна автоматизація управління виробництвом в машинобудуванні з використанням CAE систем**» розглянуто на засіданні кафедри Інженерної механіки та технології машинобудування
Протокол № 6 від «20.04.»2023 р.

Завідувач кафедри _____ Михайло ТКАЧ

Проект робочої програми навчальної дисципліни **«Комплексна автоматизація управління виробництвом в машинобудуванні з використанням CAE систем»** розглянуто методичною комісією Машинобудівного навчально-наукового інституту
Протокол № 9 від « 25.05.»2023 р.
Голова _____ Сергій СЕРБІН

Проект робочої програми навчальної дисципліни «**Комплексна автоматизація управління виробництвом в машинобудуванні з використанням CAE систем**» погоджено з навчальним відділом

Начальник навчального відділу _____ Андрій ЛАБАРТКАВА

Робоча програма навчальної дисципліни «**Комплексна автоматизація управління виробництвом в машинобудуванні з використанням CAE систем**» затверджено Навчально-методичною радою НУК
Протокол № 5 від «28.06.»2023р.

Голова НМР ~~НУК~~ _____ Євген ТРУШЛЯКОВ

© НУК, 2023

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Опис навчальної дисципліни	5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни	6
3. Передумови для вивчення дисципліни	6
4. Очікувані результати навчання	6
5. Програма навчальної дисципліни	6
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування	9
7. Форми поточного та підсумкового контролю	10
8. Критерії оцінювання результатів навчання	12
9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна	14
10. Рекомендовані джерела інформації	14

ВСТУП

Анотація

Дисципліна «**Комплексна автоматизація управління виробництвом в машинобудуванні з використанням CAE систем**» є невід'ємним складником формування професійної компетентності й важливою передумовою академічної та професійної мобільності студентів. Програма курсу «**Комплексна автоматизація управління виробництвом в машинобудуванні з використанням CAE систем**» розрахована на студентів, які вивчали такі курси як «Вища математика», «Фізика», «Теоретична механіка», «Спротив матеріалів», «Основи інформаційних технологій та програмування». Програма передбачає комплексне вивчення систем тривимірного моделювання високоточного та високопродуктивного автоматизованого обладнання відповідно до стандартівISOта ДСТУ.

Дисципліна «**Комплексна автоматизація управління виробництвом в машинобудуванні з використанням CAE систем**» є вибірковою дисципліною підготовки магістра з інженерної механіки відповідно до освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності «Прикладна механіка».

Вивчення цієї дисципліни повністю забезпечує теоретичне та практичне освоєння основних концепцій та положень системи управління якістю на виробництві відповідно до міжнародних стандартів ISO 9001.

Ключові слова: автоматизоване обладнання, CAE системи, система управління якістю, тривимірне моделювання, міжнародні стандарти, ISO, ДСТУ.

Abstract

Discipline "**Complex automation of production management in mechanical engineering using CAE Systems**" is considered to be an integral component of formation of professional competence and an important prerequisite for academic and professional mobility of the students. "**Complex automation of production management in mechanical engineering using CAE Systems**" is designed for the students who have previously studied such disciplines as "Higher mathematics", "Physics", "Theoretical mechanics", "Strength of materials", "Basics of Information Technologies and Software". The program provides comprehensive training in the field of three-dimension modeling systems for high precision and high performance automated equipment according to the international standardization system ISO and Ukrainian national standardization system DSTU.

Discipline «**Complex automation of production management in mechanical engineering using CAE Systems**» is a selective discipline for the magister of applied mechanics in accordance with the educational-professional program "Mechanical technology" in the field of knowledge 13 "Mechanical engineering" specialty 131 "Applied mechanics".

The study of this discipline fully provides theoretical and practical development of the quality management system basic ideas and conceptions according to the international standards ISO 9001 application.

Keywords: automated equipment, CAE systems, system of quality management, three dimension modeling systems, international standards, ISO, DSTU.

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td>Кількість кредитів -5</td><td rowspan="3"></td><td colspan="2">Вибіркова</td></tr>
<tr><td>Модулів –1</td><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>Змістових модулів –2</td><td>1-й</td><td>1-й</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Електронний адрес РПНД на сайті Університету</td><td rowspan="6">Усі спеціальності та освітні програми технічного спрямування, за якими ведеться підготовка в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова</td><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>2-й</td><td>2-й</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Індивідуальне науково-дослідне завдання:
не планується</td><td colspan="2">Лекцій</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>10год.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Загальна кількість годин150</td><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>30 год</td><td>10 год</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>Тижневих годин для денної форми навчання:
аудиторних – 4;

самостійної роботи студента – 6;</td><td>Освітній рівень:

другий (магістерський</td><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>90 год.</td><td>130 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Індивідуальне завдання: −</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вид контролю: залік</td></tr>
<tr><td colspan="2">Форма контролю: письмова</td></tr>
</table>

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни «**Комплексна автоматизація управління виробництвом в машинобудуванні з використанням CAE систем**» є здобуття знань про методи комплексної автоматизації сучасного машинобудівного виробництва з використанням CAE систем; вивчення зв'язків між CAD та CAE системами для їх оптимального використання при вирішенні нагальних питань механіки та технології машинобудування; вивчення основних напрямків робіт щодо удосконалення технологій машинобудування за допомогою комплексної автоматизації виробництва; вивчення основних принципів моделювання механічних процесів за допомогою CAE систем з метою підвищення зносостійкості, надійності та довговічності деталей машин.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Дисципліна базується на загальних знаннях з наступних дисциплін: Фізика; Нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка; Теоретична механіка; Спротив матеріалів; Програмування ти системи проектування управляючих програм автоматизованого обладнання.

4. Очікувані результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів таких результатів навчання:
– знання про головні напрямки автоматизації машинобудівного виробництва і методи використання CAE систем задля цього; існуючи та перспективні напрямки і засоби підвищення надійності та довговічності деталей машин за допомогою автоматизації виробництва; вплив використання CAE систем на якість виготовлених деталей машин.
– вміння вибирати та застосовувати для розв'язання задач прикладної механіки придатні математичні методи; використовувати знання теоретичних основ механіки рідин і газів, теплотехніки та електротехніки для вирішення професійних завдань; виконувати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість деталей машин; оцінювати надійність деталей і конструкцій машин в процесі статичного та динамічного навантаження;
– мати уявлення про можливості та перспективи підвищення строку служби деталей машин за рахунок комплексної автоматизації машинобудівного виробництва.

5. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1. Автоматизація моделювання базових фізико-механічних процесів, що впливають на довговічність машинобудівних деталей

Тема 1. Основні етапи життєвого циклу виробів. Зв'язок між фізико-механічними властивостями матеріалу та вибором номенклатури розрахунків для дослідження життєвого циклу деталі.

Лекція 1. ***Вступ. Основні типи життєвого циклу деталей..*** Поняття про життєвий цикл виробу. Основні етапи життєвого циклу. Дослідження життєвого циклу розрахунковими методами. Розрахункові модулі ANSYS Workbench.

Література: [1] стр. 4-26; [2] стр. 7-30; [4] стр. 3-39; [7] стр 3-45.

Лекція 2. ***Фізико-механічні властивості матеріалу деталей*** *та їх вплив на її життєвий цикл.* Основні фізико-механічні характеристики матеріалу деталей. Зв'язки між густиною, модулем Юнга та коефіцієнтом Пуассона матеріалу деталі. Номенклатура розрахункових модулів в ANSYS Workbench. Завдання фізико-механічних характеристик матеріалу в ANSYS Workbench.

Література: [1] стр. 113-122, 158-172; [2] стр. 10-42.

Тема 2. Раціональний вибір розрахункового модулю ANSYS Workbench або їх послідовності виходячи з прогнозованого життєвого циклу виробів. Розрахунки життєвого циклу простих машинобудівних деталей.

Лекція 3. ***Найбільш розповсюджені розрахункові модулі. Створення та редагування твердотільних тривимірних моделей деталей в ANSYS Workbench.*** Найбільш розповсюджені розрахункові модулі, що використовуються в машинобудуванні. Характеристики та сфери застосування модулей CFX, Thermal Structural, Static Structural, Modal. Геометричні та фізико-механічні характеристики твердотільних моделей, необхідні для кожного модуля.

Література: [1] стр. 30-39; [2] стр. 32-48; [6] стр. 10-24.

Лекція 4. ***Розрахунки життєвого циклу простих машинобудівних деталей.*** Граничні та початкові умови, в яких працюють машинобудівні деталі. Вплив робочого середовища на життєвий цикл деталей. Розрахунки деталей типу «вал», «пластина», «оболонка». Редагування результатів розрахунку в залежності від змін фізико-механічних або геометричних характеристик матеріалу.

Література: [1] стр. 126-209; [3] стр. 64-97; [4] стр. 145-208; [5] стр. 36-49; [6] стр. 120-148; [7] стр. 27-59.

Змістовий модуль 2. Автоматизація розрахунків життєвого циклу машинобудівних деталей складної геометричної форми. Зміни життєвого циклу при пружно-пластичному переході

Тема 3. Газодинамічні та термомеханічні розрахунки машинобудівних деталей.

Лекція 5. ***Зв'язок між газодинамічними та механічними розрахунками деталей енергетичного машинобудування Розрахунок коливань та їх вплив на тривалість життєвого циклу деталей.*** Вплив газодинамічного або іншого потокового середовища на машинобудівні деталі. Розрахунок векторних подів швидкості потоку та тиску на поверхнях деталей в ANSYS CFX. Зв'язок між цими полями та вимушеними коливаннями деталей. Низькочастотні та високочастотні коливання. Розрахунок форм та частот коливань в ANSYS Modal. Вплив частоти коливань на життєвий цикл деталей.

Література: [1] стр. 210-319; [4] стр. 226-348; [5] стр. 29-43.

Лекція 6. ***Термомеханічні розрахунки машинобудівних деталей.*** Вплив температурного поля на механічні властивості матеріалу деталі. Поняття про термопружність та термопластичність. Зміни життєвого циклу деталі під дією високих температур.. Термонапружений стан деталі при переході від пружного до пластичного стану.

Література: [1] стр. 320-372; [2] стр. 148-204; [4] стр. 186-204; [5] стр. 211-262

Тема 4. Плинність та термовтома. Різкі зміни життєвого циклу під дією плинності та утворення термічних тріщин.

Лекція 7. ***Термовтомна міцність машинобудівних деталей.*** Термонапружений стан машинобудівних деталей. Перехід від термопружності до термопластичності. Появлення тріщин під дією високих температур та розрахунки життєвого циклу деталей з тріщинами.

Література: [1] стр. 413-529; [3] стр. 491-580; [6] стр. 250-346.

Лекція 8. ***Втомна міцність машинобудівних деталей. Різкі зміни життєвого циклу під дією плинності.*** Зв'язок напружено-деформованого стану деталі та її втоми. Плинність матеріалу деталі. Різкі зміни життєвого циклу, викликані плинністю. Розрахунки параметрів плинності деталі з різних конструкційних матеріалів.

Література: [1] стр. 530-575; [3] стр. 582-645; [5] стр. 487-523.

Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	Денна форма					Заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		лек	пр	лаб	с.р		лек	пр	лаб	с.р
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Модуль 1 (М1)										
Змістовий модуль 1. Автоматизація моделювання базових фізико-механічних процесів, що впливають на довговічність машинобудівних деталей										
Тема 1. Основні етапи життєвого циклу виробів. Зв'язок між фізико-механічними властивостями матеріалу та вибором номенклатури розрахунків для дослідження життєвого циклу деталі.	44	7	7	–	30	34	2	2	–	30
Тема 2. Раціональний вибір розрахункового модулю ANSYS Workbench або їх послідовності виходячи з прогнозованого життєвого циклу виробів. Розрахунки життєвого циклу простих машинобудівних деталей.	46	8	8	–	30	56	2	2	–	52
Разом за змістовим модулем 1	**90**	**15**	**15**	**–**	**60**	**90**	**4**	**4**	**–**	**82**
Змістовий модуль 2. Автоматизація розрахунків життєвого циклу машинобудівних деталей складної геометричної форми. Зміни життєвого циклу при пружно-пластичному переході										
Тема 3. Газодинамічні та термомеханічні розрахунки машинобудівних деталей	36	8	8	–	20	38	4	4	–	30
Тема 4. Плинність та термовтома. Різкі зміни життєвого циклу під дією плинності та утворення термічних тріщин	24	7	7	–	10	22	2	2	–	18
Разом за змістовим модулем 2	**60**	**15**	**15**	**–**	**30**	**60**	**6**	**6**	**–**	**48**
Усього годин за М1	**150**	**30**	**30**	**–**	**90**	**150**	**10**	**10**	**–**	**130**
Разом за курсом	**150**	**30**	**30**	**–**	**90**	**150**	**10**	**10**	**–**	**130**

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Вступне заняття. Техніка безпеки при виконанні робіт. Ознайомлення з графіком виконання робіт. Вимоги до оформлення звітів з практичних робіт. *Практична робота 1.* Знайомство з ANSYS Workbench та його модульною структурою.	2	2
2	*Практична робота 2.* Розрахунок статичних	6	2

	деформацій та статичних напружень у модулі ANSYS Static Structural.		
3	*Практична робота 3.* Газодинамічні та термодинамічні розрахунки. Робота з модулями ANSYS CFX та ANSYS Thermal Transient	8	2
4	*Практична робота 4.* Розрахунок коливань та напружено-деформованого стану машинобудівних деталей під дією полів тиску, температури та швидкості потокового середовища. Модуль ANSYS Modal.	8	2
5	*Практична робота 5.* Розрахунки втомної міцності машинобудівних деталей.	6	2
	Разом	**30**	**10**

Самостійна робота
Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Підготовка до лекційних занять	5	15
2	Підготовка до практичнихробіт	5	15
3	Підготовка до поточного модульного контролю	15	15
4	Підготовка до заліку	15	10
5	Виконання РГЗ		
5.1	Розрахунок напружено-деформованого стану простих машинобудівних деталей типу «вал», «пластина», «оболонка»	10	15
5.2	Розрахунок крутильних коливань валів	10	15
5.3	Розрахунок напружено-деформованого стану машинобудівних деталей типу «лопатка», «диск»	10	15
5.4	Розрахунок частот вимушених коливань лопаток та дисків	10	15
5.5	Розрахунок параметрів втомної міцності машинобудівних деталей	10	15
	Разом	**90**	**130**

6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методів їх демонстрування

Методами навчання є:

- ✓ Для лекційних занять – лекція, ілюстрування, робота з літературою, пояснення.
- ✓ Для практичних робіт – інструктаж, робота з літературою.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання є:

1. Залік;
2. Конспект лекцій;
3. Презентації результатів виконаних практичних робіт;
4. Студентські презентації та виступи на щорічних науково-практичних конференціях: «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», «Актуальні проблеми інженерної механіки та технології машинобудування» (Україна, Миколаїв, НУК імені адмірала

Макарова), «MicroCAD. Інформаційні технології: наука, техніка, освіта» (Україна, Харків, НТУ «ХПІ»), «Актуальні проблеми обчислювальної механіки та міцності конструкцій» (Україна, Запоріжжя, ЗНТУ).

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою Університету.

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного контролю і оцінки заключного іспиту. У кожного компонента своя частка в загальній системі оцінок. У проміжних оцінках студент може набрати **60 балів**. Під компонентом проміжних оцінок розуміються поточні оцінки протягом семестру (виконання та захист практичних робіт і виконання розрахунково-графічних робіт за матеріалами 1-го та 2-го змістових модулів та оцінювання конспекту лекцій).

Для студентів денної та заочної форми навчання поточний контроль включає оцінювання виконання та захисту практичних і розрахунково-графічних робіт за матеріалами 1-го та 2-го змістових модулів та оцінювання конспекту лекцій.

Студенти виконують та захищають практичні роботи у встановлені терміни. Максимальна кількість балів за кожну практичну роботу для студентів денної форми навчання становить 5 балів з урахуванням правильності та якості оформлення звіту, обробки результатів дослідів та висновків, а також відповідей на контрольні запитання. Максимальна оцінка студента денної форми навчання за даний компонент програми 25 балів (5 робіт по 5 балів).

Максимальна кількість балів за кожну практичну роботу для студентів заочної форми навчання становить 5 балів з урахуванням правильності та якості оформлення звіту, обробки результатів дослідів та висновків, а також відповідей на контрольні запитання. Максимальна оцінка студента заочної форми навчання за даний компонент програми 25 балів (5 робіт по 5 балів).

Студенти виконують розрахунково-графічні роботи (РГЗ) за матеріалами 1-го та 2-го змістових модулів. Максимальна оцінка студентів денної форми навчання за даний компонент програми 25 балів (5 РГЗ по 5 балів). Максимальна оцінка студентів заочної форми навчання за даний компонент програми 25 балів (5РГЗ по 5 балів).

Конспект лекцій складається з чотирьох тем. За кожну тему студенти денної форми навчання можуть отримати по 2,5 бали, заочної – по 2,5 бали

Студенти складають заключний залік. Питома вага заліку в загальній системі оцінок – **40 балів**. Залік проводиться в письмовій формі. Заліковий білет включає **4 питання**. Максимальна кількість балів, яку набирає студент за відповідь на одне питання – 10 балів.

Право здавати залік дається студенту, який з кожного виду поточного модульного контролю набирає не менше 60 % від максимальної кількості балів. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки заліку. Якщо сумарна кількість балів з поточного модульного контролю становить менше 60%, студент має повторно виконати практичні та розрахунково-графічні роботи.

Зарахування кредитів навчального курсу можливо тільки після досягнення результатів, запланованих РПНД, що виражається в одній з позитивних оцінок, передбачених чинним законодавством.

Форми контролю результатів навчальної діяльності студентів та їх оцінювання

Кількість балів	Критерії оцінювання практичних занять студентів денної та заочної форми навчання
5	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує практичну роботу самостійно згідно методичних вказівок; чітко формулює мету роботи та основні положення теорії; застосовує коректні методи обробки отриманих результатів та комп'ютерні програми; у висновках надає коректну інтерпретацію результатів; звіт відповідає вимогам до оформлення практичних робіт. Студент правильно відповідає на 90…100 % контрольних запитань. Загальна кількість запитань − десять
4	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує практичну роботу згідно методичних вказівок, іноді після консультацій викладача; правильно формулює мету роботи та основні положення теорії; в цілому правильно складає звіт та робить висновки; відповідає на 74…89 % контрольних запитань.
3	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує практичну роботу згідно методичних вказівок, складає звіт, що містить неточності у висновках та помилки; відповідає на 60…73 % контрольних запитань.
2	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує практичну роботу після консультацій викладача; складає звіт, що містить значні неточності у висновках та помилки; відповідає на 35…59 % контрольних запитань.
0…1	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує практичну роботу після консультацій викладача; складає звіт, що містить значні неточності у висновках та помилки; відповідає менше ніж на 35% контрольних запитань.
	Максимальна оцінка студента за даний компонент програми 25 балів (5 робіт по 5 балів).

Кількість балів	Критерії оцінювання розрахунково-графічних робіт студентами денної та заочної форм навчання
5	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує розрахунково-графічну роботу самостійно згідно методичних вказівок; чітко формулює мету роботи та основні положення теорії; застосовує коректні методи обробки отриманих результатів та комп'ютерні програми; написаний звіт надає коректну інтерпретацію результатів; звіт відповідає вимогам до оформлення розрахунково-графічних робіт. Студент правильно відповідає на 90…100 % контрольних запитань. Загальна кількість запитань − десять
4	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує розрахунково-графічну роботу згідно методичних вказівок, іноді після консультацій викладача; правильно формулює мету роботи та основні положення теорії; в цілому правильно складає звіт та робить висновки; відповідає на 74…89 % контрольних запитань.
3	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує розрахунково-графічну роботу згідно методичних вказівок, складає звіт, що містить неточності у висновках та помилки; відповідає на 60…73 % контрольних запитань.
2	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує розрахунково-графічну роботу після консультацій викладача; складає

	звіт, що містить значні неточності у висновках та помилки; відповідає на 35…59 % контрольних запитань.
0…1	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує розрахунково-графічну роботу після консультацій викладача; складає звіт, що містить значні неточності у висновках та помилки; відповідає менше ніж на 35% контрольних запитань.
	Максимальна оцінка студента за даний компонент програми 25 балів (*5 робіт по 5 балів*)

Кількість балів	**Критерії оцінювання конспекту лекцій студентами денної та заочної форми навчання**
2,5	Питання лекцій теми розкриті повністю, матеріал лекцій містить відповідні рисунки, таблиці й формули.
2	Питання більшості лекцій теми розкриті повністю, але деякі потребують доопрацювання, матеріал лекцій містить відповідні рисунки, таблиці й формули.
1,5	Питання значної кількості лекцій теми розкриті не повністю і потребують доопрацювання, деякі лекції не містять відповідні рисунки, таблиці й формули.
1	Питання більшості лекцій теми розкриті не повністю і потребують доопрацювання, а лекції не містять відповідні рисунки, таблиці й формули.
0…0,5	Питання більшості лекцій теми не розкриті.
	Максимальна оцінка студента за даний компонент програми 10 балів (*4 теми по 2,5 бали*).

Поточний модульний контроль

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	Денна форма	Заочна форма
Виконання та захист практичних робіт	5*5 балів = 25	5*5 балів = 25
Виконання розрахунково-графічних робіт	5*5 балів = 25	5*5 балів = 25
Конспект лекцій	4*2,5 бали = 10	4*2,5 бали = 10
Всього	**60**	**60**

8. Критерії оцінювання результатів навчання

		Денна форма навчання	
		Вид роботи	Кількість балів
ЗМ 1	Т1	Практична робота №1	5
		Практична робота №2	5
	Т2	Практична робота №3	5
ЗМ 2	Т3	Практична робота №4	5

	Т4	Практична робота №5	5
ЗМ 1	Т1	Розрахунково-графічна робота №1	5
	Т2	Розрахунково-графічна робота №2	5
ЗМ 2	Т3	Розрахунково-графічна робота №3	5
	Т4	Розрахунково-графічна робота №4	5
		Розрахунково-графічна робота №5	5
ЗМ 1	Т1	Конспект лекцій	2,5
	Т2	Конспект лекцій	2,5
ЗМ 2	Т3	Конспект лекцій	2,5
	Т4	Конспект лекцій	2,5
Підсумковий контроль		Залік	40
Сума			100

		Заочна форма навчання	
		Вид роботи	Кількість балів
ЗМ 1	Т1	Практична робота №1	5
		Практична робота №2	5
	Т2	Практична робота №3	5
ЗМ 2	Т3	Практична робота №4	5
	Т4	Практична робота №5	5
ЗМ 1	Т1	Розрахунково-графічна робота №1	5
	Т2	Розрахунково-графічна робота №2	5
ЗМ 2	Т3	Розрахунково-графічна робота №3	5
	Т4	Розрахунково-графічна робота №4	5
		Розрахунково-графічна робота №5	5
ЗМ 1	Т1	Конспект лекцій	2,5
	Т2	Конспект лекцій	2,5
ЗМ 2	Т3	Конспект лекцій	2,5
	Т4	Конспект лекцій	2,5

Підсумковий контроль	Залік	40
Сума		100

9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна

Як наочний матеріал на лекціях і практичних заняттях використовуються: альбоми, плакати та слайди, тривимірні моделі верстатних пристосувань; макети верстатних пристосувань; нормативні документи та довідники; приклади проектних розрахунків реальних пристосувань різних типів верстатів з ЧПК та універсальних верстатів; відеоматеріали, анімації побудови та деформування тривимірних моделей в модулях ANSYS Workbench тощо. Лекційні заняття проводяться на кафедрі інженерної механіки та технології машинобудування НУК в спеціальному комп'ютерному класі, а практичні – в лабораторії адитивних технологій та комп'ютерному класі. Всі розрахунково-графічні та практичні роботи виконується за допомогою **безкоштовної студентської версії** комп'ютерної програми ANSYS.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Мартиненко Г.Ю., Розова Л.В. Комп'ютерне моделювання елементів конструкцій та визначення їх міцності при статичних навантаженнях: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», ТОВ «Естет Принт», 2021. 242 с. (http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/54247

2. Zienkiewicz, O.C.: The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. Elsevier/Butterworth-Heinemann, Amsterdam, Boston. (2014).

3. Mzarbhuiya, H.M.S.M., Pandey, K.M.: Steady state structural analysis of high pressure gas turbine blade using finite element analysis. In IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. (2017). https://doi:10.1088/1757-899X/225/1/012113

4. Ziaei-Asl, A., Tayefe-Ramezanlou, M.: Thermo-mechanical behavior of gas turbine blade equipped with cooling ducts and protective coating with different thickness. Int. J. of Mech. Sci. **150,** 656−664 (2019). https://doi.org/10.1016/i.jmecsci.2018.10.070

5. Yershov, S.V., Yakovlev, V.A.: The influence of mesh resolution on 3D RANS flow simulations in turbomachinery flow path. J. of Mech. Eng. **24(1)**, 13−27 (2021) https://doi.org/10.15407/pmach2021.01.013.

6. Aniekan, I.E., Oghenefeijro, E.-O.E., Godfrey, A.O.: Thermo-structural analysis of first stage gas turbine rotor blade materials for optimum service performance. Int. J. of Eng. and Appl. Sci. **10(2),** 118 – 130 (2018) https://dx.doi.org/10.24107/ijeas.447650

7. Kumar, R., Kumar, V.S., Butt, M.M., Sheikh, N.A., Khan, S.A., Afzal, A.: Thermo-mechanical analysis and estimation of turbine blade tip clearance of a small gas turbine engine under transient operating conditions. Appl. Therm. Eng. (2020). https://doi.org/10.1016/applithermaleng.2020.115700

Допоміжна література

1. Narasimbachary, S.B., Smith, K., Schinde, R.S., Amann, C., Kadau, K., Iyer, S.: Life assessment of large turbine blades. In ASME Turbo Expo 2019: Turbomachinery Technical Conference and Exposition Proceeding Paper. (2019) https://doi.org/10.1115/GT2019-91630

2. Boychenko, N., Ishtyryakov, I.: Characterization of the stress-strain state in a gas turbine engine compressor disk taking into account damage accumulation. Frattura ed Integrita Struturalle. **50**, 54 – 67 (2019). https://doi:10.3221/IGF-ESIS.50.07

3. Kantor, B.Ya., Smetankina, N.V., Shupikov, A.N.: Analysis of non-stationary temperature fields in laminated strips and plates. Int. J. of Solids and Structures. **38(48/49)**, 8673–8684 (2001). https://doi.org/10.1016/S0020-7683(01)00099-3

4. Misura, S., Smetankina, N., Misiura, I.: Optimal design of the cyclically symmetrical structure under static load. In integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2020. ICTM 2020. Lecture Notes in Networks and Systems. **188**, 256−266 (2021). https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_21

5. Liu, W.: Design and kinetic analysis of wind turbine blade-hub-tower coupled system. Renewable energy **94**, 547−557 (2016). https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.068

6. Eliseev, V., Moskalets, A.: Application of the Lagrange-Ritz-Kantorovich method to the vibration analysis of turbine blades. NTU "KhPI" Bul.: Power and heat engineering processes and equipment. **8**, 149−152 (2016). https://doi.org/10.20998/2078-774X.2016.08.21

7. Duriagina, Z.A., Kulyk, V.V., Filimonov, O.S., Trostianchyn, A.M., Sokulska, N.B.: The role of stress-strain state of gas turbine engine metal parts in predicting their safe life. Progr. in Phys. of Metals. **22(4)**, 643−677 (2021). https://doi.org/10.15407/ufm.22.04.643

8. Bitkina, O., Weon-Kang, K., Jang-Ho, L.: Experimental and theoretical analysis of the stress-strain state of anisotropic multilayer composite panels for wind turbine blade. Renewable Energy. **79**, 219 – 226 (2015). https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.004

9. Skamniottis, Ch., Courtis, M., Cocks, C.F.A.: Multiscale analysis of thermomechanical stresses in double wall transpiration cooling systems for gas turbine blades. Int. J. of Mech. Sci. (2021). https://doi.org/10.1016/j.ijmec.sci.2021.106657

10. Kauss, O., Tsybenko, H., Naumenko, K., Hutter, S., Kruger, M.: Structural analysis of gas turbine blades made of Mo-Si-B under transient thermo-mechanical loads. Comp. Mats Sci. **165**, 129−136 (2019). https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2019.04.23

11. Arkhipov, A.N., Volgina, M.V., Matushkin, A.A., Ravikovich, Yu.A., Kholobtsev, D.P.: Effect of a model and boundary conditions on the results of analyzing the stress-strain state of a low pressure compressor rotor. Str. Mech. and Str. of Flight Vehicles. **61**, 509−516 (2018). https://doi.org/10.3103/51068799818040025

Інформаційні ресурси в інтернет

1. https://www.youtube.com/watch?v=1gFVcmXIFa4
2. https://www.youtube.com/watch?v=7DFU_AnHD0U
3. https://www.youtube.com/watch?v=rOw2PoiI-jQ
4. https://www.youtube.com/watch?v=UAD9mFOEQhI
5. https://www.youtube.com/watch?v=DeZ5igNq00Y
6. https://www.youtube.com/watch?v=TOnkMBB2nPE
7. **.ANSYS Workbench Documentation. https://kashanu.ac.ir/Files/Content/ANSYS%20Workbench.pdf**