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

Тривимірне моделювання деталей машин з використанням CAE систем

Space modeling of machine parts on the base of CAE systems

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

тип дисципліни вибіркова

мова(и) викладання українська

Миколаїв – 2024

Робоча програма навчальної дисципліни «**Тривимірне моделювання деталей машин 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

"10" 11 2024 року. -15 с.

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

Проект робочої програми навчальної дисципліни «**Тривимірне моделювання деталей машин з використанням CAE систем**» розглянуто на засіданні кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Протокол № 4 від « 14 » 11 2024 р.

Завідувач кафедри _____ Михайло ТКАЧ

Проект робочої програми навчальної дисципліни «**Тривимірне моделювання деталей машин з використанням CAE систем**» розглянуто Навчально-методичною Радою Машинобудівного навчально-наукового інституту
Протокол № 3 від « 15 » 11 2024 р.

Голова _____ Сергій СЕРБІН

Проект робочої програми навчальної дисципліни «**Тривимірне моделювання деталей машин з використанням CAE систем**» погоджено з навчальним відділом

Начальник навчального відділу _____ Андрій ЛАБАРТКАВА

Робоча програма навчальної дисципліни «**Тривимірне моделювання деталей машин з використанням CAE систем**» затверджено Навчально-методичною радою НУК
Протокол №9 від « 27 » 11 2024 р.

Голова НМР НУК _____ Сергій СЛОБОДЯН

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	9
8. Критерії оцінювання результатів навчання	10
9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна	12
10. Рекомендовані джерела інформації	12
Додаток	15

ВСТУП

Анотація

Дисципліна спрямована на одержання ґрунтовних знань про новітні перспективні методи чисельних досліджень термомеханічних та вібраційних процесів в машинобудівних конструкціях. В дисципліні розглядаються теоретичні основи чисельних методів, зокрема методу скінчених елементів, надаються приклади вирішення задач термопружності, визначення частот і форм власних та вимушених коливань, напружено-деформованого стану та втомної міцності найбільш розповсюджених вузлів машинобудівних конструкцій, методи аналізу та верифікацію отриманих результатів.

Дисципліна повинна надати студентам глибинні професійні знання та навички стосовно теоретичних засад та практичного використання чисельних методів при вирішенні задач прикладної механіки, виробити у аспірантів здатність до реалізації цих знань у своїй науковій та практичній діяльності.

В ході вивчення дисципліни студент ознайомиться з новітніми підходами та перспективними методами дослідження вібраційних характеристик, напружено-деформованого стану та втомної міцності вузлів машинобудівних конструкцій при розв’язанні наукових завдань їх проектування та виробництва.

Ключові слова: тривимірне моделювання, напружено-деформований стан, деталі машин, CAE системи

.

Abstract

The discipline is aimed at obtaining the knowledge of the latest promising methods of numerical studies of thermomechanical and vibrational processes in machine-building structures.The discipline examines the theoretical foundations of numerical methods, in particular the finite element method, provides examples of solving problems of thermoelasticity, determination of frequencies and forms of natural and forced oscillations, stress-strain state and fatigue strength of the most common components of machine-building structures, methods of analysis and verification of the obtained results.

The discipline should provide graduate students with in-depth professional knowledge and skills regarding the theoretical foundations and practical use of numerical methods in solving problems of applied mechanics, develop in graduate students the ability to implement this knowledge in their scientific and practical activities. In the course of studying the discipline, the graduate student will get acquainted with the latest approaches and promising methods of researching vibration characteristics, stress-strain state and fatigue strength of machine-building structures while solving scientific tasks of their design and production.

Keywords: space modelling, stress-strain state, machine parts, CAE systems

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 –1</td><td>3-й</td><td>3-й</td></tr>
<tr><td rowspan="3">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>5-й</td><td>5-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Індивідуальне науково-дослідне завдання:
Не передбачено</td><td>30год.</td><td>6год</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Загальна кількість годин150</td><td>30год</td><td>6год</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Тижневих годин дляденної форми навчання:
аудиторних – 4;

самостійної роботи студента – 6</td><td rowspan="5">Освітній рівень:

перший (бакалаврський)</td><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>90год.</td><td>138год</td></tr>
<tr><td colspan="2">Індивідуальне завдання: не передбачено</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

Мета дисципліни – надання знань про новітні перспективні методи чисельних досліджень термомеханічних та вібраційних процесів в машинобудівних конструкціях.

Завдання вивчення дисципліни надати бакалаврам глибинні професійні знання та навички стосовно теоретичних засад та практичного використання тривимірного моделювання при вирішенні задач прикладної механіки, виробити у бакалаврів здатність до реалізації цих знань у своїй науковій та практичній діяльності.

Предмет навчальної дисципліни:

1) метод скінчених елементів та особливості його застосування при вирішенні механічних задач;

2) новітні CAE програми на основі чисельних методів;

3) сучасне підходи у використанні тривимірного моделювання при проектуванні деталей машин.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумовами для вивчення дисципліни є вивчення дисциплінтехнічного спрямування.

4. Очікувані результати навчання

Після вивчення курсу аспіранти повинні *знати та вміти*: розроблювати математичні термомеханічних та вібраційних процесів у машинобудівних конструкціях та проводити скінчено-елементну апроксимацію твердо тільних деталей та вузлів машин і механізмів складної геометричної форми. *Мати уявлення*: про найбільш прогресивні чисельні методи, використовувані при вирішенні термопружних та вібраційних проблем при дослідженні полів температур, напружено-деформованого стану та втомної міцності різних типів механізмів та машин, виготовлених різних типів матеріалів.

Дисципліна «Тривимірне моделювання деталей машин з використанням CAE систем» може бути корисною для подальшої підготовки та виконання кваліфікаційної роботи.

5. Програманавчальноїдисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1 Чисельні методи та їх використання при вирішенні задач прикладної механіки.

Тема 1. Основи використання чисельних методів.

Лекція 1.*Метод ітерації.* Графічна інтерпретація методу ітерацій. Теорема про збіжність ітераційного процесу. Алгоритм чисельного розв'язання нелінійних рівнянь.

Література: [1] стр. 4-26; [2] стр. 7-30; [3] стр. 3-39; [10].

Лекція 2.*Розвязання систем лінійних рівнянь*.Точні і наближеніметодирозвязання систем лінійнихрівнянь. Метод Халецького. Збіжністьітераційного процессу..

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

Лекція 3.*Наближене диференціювавння.* Постановка задачі. Методинаближеногодиференціювання.

Література: [1] стр. 57-125;[3] стр.85-141; [4; [6], [7].

Лекція 4.*Наближене інтегрування.* Постановка задачі. Квадратурні формули Ньютона-Котеса та Гауса-Лежандра. Оцінка похибок.

Література: [1] стр. 126-209; [3] стр. 64-97; [4], [5]; [6]; [8].

Лекція 5.*Розвязання звичайних диференціальних рівнянь.* Задача Коші. Розвязаннязвичайнихдиференціальнихрівнянь методом Ейлера. Метод Рунге-Кутта.

Література: [1] стр. 210-319; [2] стр. 226-348; [5]; [9]; [10].

Лекція 6.*Метод скінчених елементів.* Основні типии скінченихелементів. Глобальна і локальна системи координат елемента. Координатніперетворення та функціїформиелементів. Поля переміщеньвузлівелемента.

Література: [1] стр. 320-372; [2] стр. 148-204; [4]; [5]; [11]; [12].

Тема 2. Вирішення задач прикладної механіки за допомогою чисельних методів.

Лекція 7.*Задачі обтікання потоком твердого тіла.*Моделювання ламінарного та турбулентного обтікання. Обтікання потоком обертаючогося твердого тіла. Визначення поля швидкості потоку. Визначення полів тиску та температури на стінках твердого тіла, що обтікається потоком. Перехід кінетичної енергії потоку в потенційну енергії твердого тіла.

Література: [1] стр. 213-229; [2] стр. 491-580; [3] стр. 25-46; [11].

Лекція 8.*Вимушені коливання, напружено-деформований стан та втомна міцність твердого тіла.* Визначення частот і амплітудвимушенихколивань твердого тіла за допомогоюметодівХолецького і Хаусхольдера.Вирішеннятермопружноїзадачі та визначенняполівтемпературних та динамічнихнапружень твердого тіла. Границявитривалостіматеріалу. Звязоктермовтомноїміцності твердого тіла з йоготермонапруженим станом.

Література: [1] стр. 130-175; [3] стр. 82-125; [5]; [9]; [10].

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. Чисельні методи та їх використання при вирішенні задач прикладної механіки.										
Тема 1. Основи використання чисельних методів.	100	20	20	-	60	96	4	4	–	80
Тема 2. Вирішення задач прикладної механіки за допомогою чисельних методів.	50	10	10	-	30	54	2	2	-	58
Разом за змістовим модулем 1	**150**	**30**	**30**	**-**	**90**	**150**	**6**	**6**	**-**	**138**
Усього годин за М1	**150**	**30**	**30**	**-**	**90**	**150**	**6**	**6**	**-**	**138**
Разом за курсом	**150**	**30**	**30**	**-**	**90**	**150**	**6**	**6**	**-**	**138**

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Дослідження обтікання твердого тіла турбулентним потоком. Визначення поля тиску на поверхні твердого тіла	4	1
2	Дослідження конвективного теплообміну від потоку до твердого тіла. Визначення поля температур на поверхні твердого тіла	4	2
3	Визначення напружень та деформацій твердого тіла під дією статичного навантаження	4	2
4	Визначення власних частот і форм коливань твердого тіла за різних граничних умов	2	-
5	Визначення вимушених частот коливань і напружено-деформованого стану твердого тіла	4	-
6	Вирішення термопружної задачі для твердого тіла.	4	1
7	Термовтомна міцність твердого тіла. Визначення максимальної кількості циклів комбінованого теплового та динамічного навантаження до появи тріщин	4	-
8	Визначення полів напружень під дією теплових та динамічних навантажень	4	-
	Разом	**30**	**6**

Теми лабораторних робіт

Лабораторні роботи не передбачені навчальним планом.

Самостійна робота
Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Підготовка до лекційних занять	10	20
2	Підготовка до практичних занять	20	28
2	Підготовка до поточного модульного контролю	30	40
3	Підготовка до заліку	30	50
	Разом	**90**	**138**

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. 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 заліку. 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 завдань і підготовка конспекту лекцій для студентів денної та заочної форми навчання).

Для студентів денної форми навчання поточний контроль включає оцінювання виконання та захисту практичних завдань за матеріалами 1-го та 2-го змістових модулів. Студенти виконують та захищають практичні завдання у встановлені терміни. Максимальна кількість балів за кожне практичнее завдання становить 5 балів з урахуванням правильності та якості оформлення звіту, обробки результатів та висновків, а також відповідей на

контрольні запитання. Максимальна оцінка студента за даний компонент програми 40 балів (8 робіт по 5 балів).

Студенти заочної форми навчання виконують та захищають практичні завдання та мають підготувати конспект лекцій за темами дисципліни. Максимальна оцінка студента за практичні завдання 20 балів (4роботи по 5 балів).

Максимальна оцінка студента денної форми навчання за конспект лекцій 20 балів (2 теми - по 10 балів). Максимальна оцінка студента заочної форми навчання за конспект лекцій 40 балів (2 теми - по 20 балів).

Студенти денної та заочної форми навчання складають 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 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 завдань студентів денної форми навчання**
5	Завдання виконано у встановлений термін. Студент виконує практичне завдання 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 завдань. Студент правильно відповідає на 90…100 % контрольних запитань.
4	Завдання виконано у встановлений термін. Студент виконує практичне завдання 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	Завдання виконано у встановлений термін. Студент виконує практичне завдання згідно методичних вказівок, складає звіт, що містить неточності у висновках та помилки; відповідає на 60…73 % контрольних запитань.
2	Завдання виконано з порушеннямвстановленихтермінів. Студент виконуєпрактичне завдання післяконсультаційвикладача; складаєзвіт, щоміститьзначнінеточності у висновках та помилки; відповідає на 35…59 % контрольних запитань.
0…1	Завдання виконано з порушенням встановлених термінів. Студент виконує практичне завдання 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 40 балів (8 завдань по 5 балів).

Кількість балів	Критерії оцінювання практичних завдань студентів заочної формин навчання
5	Завдання виконано у встановлений термін. Студент виконує практичне завдання 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 завдань. Студент правильно відповідає на 90…100 % контрольних запитань.
4	Завдання виконано у встановлений термін. Студент виконує практичне завдання 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	Завдання виконано у встановлений термін. Студент виконує практичне завдання згідно методичних вказівок, складає звіт, що містить неточності у висновках та помилки; відповідає на 60…73 % контрольних запитань.
2	Завдання виконано з порушеннямвстановленихтермінів. Студент виконуєпрактичне завдання післяконсультаційвикладача; складаєзвіт, щоміститьзначнінеточності у висновках та помилки; відповідає на 35…59 % контрольних запитань.
0…1	Завдання виконано з порушенням встановлених термінів. Студент виконує практичне завдання 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 програми20 балів (4завданняпо 5 балів).

Кількість балів	Критерії оцінювання конспекту лекцій для денної форми навчання
5	Питання лекцій теми розкриті повністю, матеріал лекцій містить відповідні рисунки, таблиці й формули.
4	Питання більшості лекцій теми розкриті повністю, але деякі потребують допрацювання, матеріал лекцій містить відповідні рисунки, таблиці й формули.
3	Питання значної кількості лекцій теми розкриті не повністю і потребують допрацювання, деякі лекції не містять відповідні рисунки, таблиці й формули.
2	Питання більшості лекцій теми розкриті не повністю і потребують допрацювання, а лекції не містять відповідні рисунки, таблиці й формули.
0…1	Питання більшості лекцій теми не розкриті.
	Максимальна оцінка студента за даний компонент програми20балів(2 *теми по 5 балів*).

Кількість балів	Критерії оцінювання конспекту лекцій для заочної форми навчання
5	Питання лекцій теми розкриті повністю, матеріал лекцій містить відповідні рисунки, таблиці й формули.
4	Питання більшості лекцій теми розкриті повністю, але деякі потребують допрацювання, матеріал лекцій містить відповідні рисунки, таблиці й

	формули.
3	Питання значної кількості лекцій теми розкриті не повністю і потребують допрацювання, деякі лекції не містять відповідні рисунки, таблиці й формули.
2	Питання більшості лекцій теми розкриті не повністю і потребують допрацювання, а лекції не містять відповідні рисунки, таблиці й формули.
0…1	Питання більшості лекцій теми не розкриті.
	Максимальна оцінка студента за даний компонент програми40 балів (*2 теми по 20 балів*).

Кількість балів	**Критерії оцінювання заліку**
10	Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки.
8…9	Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки, але містить незначну кількість дрібних помилок.
6…7	Відповідь на питання достатньо повна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість дрібних помилок.
3…5	Відповідь на питання неповна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість грубих та дрібних помилок.
0…2	Відповідь на питання неповна або відсутня, не підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість грубих та дрібних помилок.
	Максимальна оцінка студента за даний компонент програми 40 балів (*4 питання по 10 балів*).

Поточний модульний контроль

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	Денна форма	Заочна форма
Виконання та захист практичних робіт	8*5 балів = 40	4*5 балів = 20
Конспект лекцій	2*10 балів = 20	2*20 балів = 40
Всього	**60**	**60**

8. Критерії оцінювання результатів навчання

		Денне відділення	
		Вид роботи	Кількість балів
ЗМ 1	Т1	Практичне завдання №1	5
		Практичне завдання №2	5
	Т2	Практичне завдання №3	5
		Практичне завдання №4	5

		Практичне завдання №5	5
		Практичне завдання №6	5
		Практичне завдання №7	5
		Практичне завдання №8	5
ЗМ 1	Т1	Конспект лекцій	10
	Т2	Конспект лекцій	10
Підсумковий контроль		Залік	40
Сума			100

		Заочне відділення	
		Вид роботи	Кількість балів
ЗМ 1	Т1	Практичне завдання №1	5
		Практичне завдання №2	5
	Т2	Практичне завдання №3	5
		Практичне завдання №4	-
		Практичне завдання №5	-
		Практичне завдання №6	5
		Практичне завдання №7	-
		Практичне завдання №8	-
ЗМ 1	Т1	Конспект лекцій	20
	Т2	Конспект лекцій	20
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 різних механізмів та вузлів машинобудівних конструкцій. Лекційні заняття проводяться на кафедрі інженерної механіки та технології машинобудування НУК в лекційних аудиторіях, а практичні – в лабораторіях кафедри Інженерної механіки та технології машинобудування.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. МартиненкоГ.Ю.,РозоваЛ.В.Комп'ютернемоделюванняелементівконструкційта визначення їх міцності при статичних навантаженнях: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ»,ТОВ«ЕстетПринт»,2021.242с.(http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/54247
2. Zienkiewicz,O.C.:TheFiniteElementMethodforSolidandStructuralMechanics.Elsevier/ Butterworth-Heinemann,Amsterdam,Boston. (2014).
3. Mzarbhuiya, H.M.S.M., Pandey, K.M.: Steadystatestructuralanalysisofhighpressuregasturbinebladeusingfiniteelementanalysis.InIOPConf.Series:MaterialScienceandEngineering.(2017).https://doi:10.1088/1757-899X/225/1/012113
4. Ziaei-Asl, A., Tayefe-Ramezanlou, M.: Thermo-mechanical behaviorofgasturbinebladeequippedwithcoolingductsandprotectivecoatingwithdifferentthickness. Int. J. ofMech. Sci.**150,**656−664 (2019).https://doi.org/10.1016/i.jmecsci.2018.10.070
5. Yershov, S.V., Yakovlev, V.A.: Theinfluenceofmeshresolutionon 3D RANS flowsimulationsinturbomachineryflowpath.J.ofMech.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 analysisoffirststagegasturbinerotorbladematerialsforoptimumserviceperformance. Int. J. ofEng. andAppl.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-mechanicalanalysisandestimationofturbinebladetipclearanceof asmallgasturbineengineundertransientoperatingconditions.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.: Lifeassessmentoflargeturbineblades.InASMETurboExpo2019:TurbomachineryTechnicalConferenceandExpositionProceedingPaper.(2019)https://doi.org/10.1115/GT2019-91630
2. Boychenko, N., Ishtyryakov, I.: Characterizationofthe stress-strain statein a gasturbineenginecompressordisktakingintoaccountdamageaccumulation. FratturaedIntegritaStruturalle.**50**,54 – 67 (2019).https://doi:10.3221/IGF-ESIS.50.07
3. Kantor,B.Ya.,Smetankina,N.V.,Shupikov,A.N.:Analysisofnon-stationarytemperaturefieldsinlaminatedstripsandplates. Int. J. ofSolidsandStructures. **38(48/49)**, 8673–8684(2001).https://doi.org/10.1016/S0020-7683(01)00099-3
4. Misura, S., Smetankina, N., Misiura, I.: Optimaldesignofthecyclicallysymmetricalstructureunderstaticload. InintegratedComputer Technologies inMechanicalEngineering – 2020.ICTM2020.LectureNotesinNetworksandSystems.**188**,256−266(2021).https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_21
5. Liu, W.: Designandkineticanalysisofwindturbine blade-hub-tower coupledsystem.Renewableenergy**94**,547−557 (2016).https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.068
6. Eliseev, V., Moskalets, A.: Applicationofthe Lagrange-Ritz-Kantorovich methodtothevibrationanalysisofturbineblades. NTU "KhPI" Bul.: Powerandheatengineeringprocessesandequipment.**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.: Theroleofstress-strainstateofgasturbineenginemetalpartsinpredictingtheirsafelife.Progr.inPhys.ofMetals. **22(4)**,643−677 (2021).https://doi.org/10.15407/ufm.22.04.643

8. Bitkina, O., Weon-Kang, K., Jang-Ho, L.: Experimentalandtheoreticalanalysisofthestress-strain stateofanisotropicmultilayercompositepanelsforwindturbineblade. RenewableEnergy.**79**, 219– 226 (2015).https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.004

9. Skamniottis, Ch., Courtis, M., Cocks, C.F.A.: Multiscaleanalysisofthermomechanicalstressesindoublewalltranspirationcoolingsystemsforgasturbin eblades. Int. J. ofMech. Sci.(2021).https://doi.org/10.1016/j.ijmec.sci.2021.106657

10. Kauss, O., Tsybenko, H., Naumenko, K., Hutter, S., Kruger, M.: Structuralanalysisofgasturbinebladesmadeof Mo-Si-Bundertransientthermo-mechanicalloads.Comp.MatsSci.**165**,129−136 (2019).https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2019.04.23

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 lowpressurecompressorrotor.Str.Mech.andStr.ofFlightVehicles.**61**,509−516(2018).https://doi.org/10.3103/S1068799818040025

Інформаційні ресурси в інтернет

1. https://vseosvita.ua/library/konspekt-lekcij-metrologia-i-standartizacia-136699.html
2. https://buklib.net/books/35966/
3. http://csm.kiev.ua/index.php?lang=ru
4. https://stud.com.ua/1266/tovaroznavstvo/metrologiya_standartizatsiya_i_sertifikatsiya
5. http://geo.univ.kiev.ua/images/doc_file/navch_lit/PosibnykA5k.pdf

ДОДАТОК

Результати перегляду робочоїпрограминавчальноїдисципліни
«Тривимірне моделювання деталей машин з використанням CAE систем»

Теми лекцій

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
	Разом		

Теми практичних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
	Разом		

Зміни до робочої програми навчальної дисципліни **«Тривимірне моделювання деталей машин з використанням CAE систем»** розглянуто на засіданні кафедри «інженерної механіки та технології машинобудування

Протокол №___ від «___»_____20 р.

Завідувача кафедри _____ Михайло ТКАЧ