

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ
Кафедра прикладної фізики та вищої математики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету інженерії
та інформаційних технологій

Ігор ПАНАСЮК

2025 року



РОБОЧА ПРОГРАМА

навчальної дисципліни	<u>Комп'ютерне моделювання в прикладній фізиці</u>
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Спеціальність	<u>Е6 Прикладна фізика та наноматеріали</u>
Освітня програма	<u>Нано- та мікротехнології у креативному проектуванні</u>
Факультет інженерії та інформаційних технологій	

Київ
2025 рік

РОЗРОБЛЕНО: Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Лаврик В.В., к.ф.-м.наук, доцент, ст. викл. кафедри ПФВМ

Схвалено вченою радою факультету інженерії та інформаційних технологій

від «11» червня 2025 року, протокол № 2

Схвалено науково-методичною радою факультету інженерії та інформаційних технологій

від «11» червня 2025 року, протокол № 3

Обговорено та рекомендовано на засіданні кафедри прикладної фізики та вищої математики

Протокол від «29» травня 2025 року № 10

Завідувачка кафедри

(підпис)

Ірина ОЛЕЙНІКОВА

Погоджено:

Гарант ОП кафедри прикладної фізики
та вищої математики

Ірина ОЛЕЙНІКОВА

«29» 05 2025р.

1 ОПИС ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Характеристика дисципліни	
	очна форма здобуття вищої освіти	заочна, дистанційна форма здобуття вищої освіти
Кількість годин / кредитів – 90 / 3	обов'язкова	
Змістові модулі – 1	Рік підготовки:	
Розділи – 1	2-й	-
Загальна кількість тижневих годин для денної форми здобуття вищої освіти: аудиторних – 4 самостійної роботи – 3,5	Семестр	
	4-й	-
	Лекції	
	24 год.	-
	Практичні, семінарські	
	-	-
	Лабораторні	
	24 год.	-
	Самостійна робота	
	42 год.	-
	Індивідуальні завдання: -год.	
	Вид контролю: екзамен (семестр 4)	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
 для денної форми навчання – 48/42
 для заочної форми навчання –

2. АНОТАЦІЯ ДИСЦИПЛІНИ

Робоча програма навчальної дисципліни складається з одного змістового модуля.

Мета курсу - формування у здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти базових знань і практичних навичок застосування методів комп'ютерного моделювання для дослідження фізичних процесів, а також для проектування елементів і вузлів машин та розроблення технологічних процесів їх виготовлення з використанням прикладних програмних пакетів. Курс орієнтований на опанування студентами основ побудови математичних моделей, використання комп'ютерних засобів для інженерних розрахунків, аналізу результатів моделювання та прийняття обґрунтованих інженерно-технічних рішень у галузі прикладної фізики.

Результати навчання дисципліни:

знати: принципи побудови математичних моделей фізичних явищ, методи їх формалізації та чисельного розв'язання; можливості та обмеження сучасних прикладних програмних пакетів, що використовуються для комп'ютерного моделювання, аналізу та візуалізації результатів; основні підходи до комп'ютерного проектування елементів і вузлів машин та технологічних процесів їх виготовлення.

вміти: застосовувати знання з прикладної фізики для побудови та аналізу комп'ютерних моделей фізичних процесів; використовувати прикладні програмні пакети для проведення розрахунків, моделювання та оптимізації фізичних, інженерних і технологічних задач; інтерпретувати результати комп'ютерного моделювання, оцінювати їх достовірність та коректність; застосовувати методи комп'ютерного моделювання під час проектування вузлів машин і розроблення технологічних процесів з урахуванням фізичних закономірностей.

здатен продемонструвати: спроможність самостійно розробляти прості математичні та комп'ютерні моделі з подальшим їх ускладненням для дослідження фізичних явищ і технічних об'єктів; уміння проводити комп'ютерні експерименти, аналізувати отримані результати та робити обґрунтовані висновки.

володіти: навичками використання сучасних інформаційних і комунікаційних технологій та прикладних програмних пакетів для створення, дослідження та візуалізації фізичних моделей..

Програмні результати навчання:

ІК	Здатність розв'язувати типові та ускладнені прикладні задачі у галузі прикладної фізики шляхом побудови та використання комп'ютерних моделей фізичних процесів, застосування сучасних прикладних програмних пакетів для аналізу, проектування елементів і вузлів машин та технологічних процесів їх виготовлення, з урахуванням фізичних закономірностей, обмежень реальних систем і вимог до інженерних рішень.
ЗК 5	Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
ЗК 9	Здатність працювати автономно.
ФК 5	Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.
ФК 7	Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності
ПРН 9	Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.
ПРН 13	Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.
ПРН 14	Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для чисельного розв'язування фізичних задач та моделювання фізичних явищ.

Необхідні передумови: успішне опанування навчальної дисципліни “Вища математика”, “Фізика”

Види навчальних занять: лекція, лабораторне, практичне, консультація.

Методи навчання: словесний, пояснювально-демонстраційний, метод проблемного викладання.

Методи контролю: усний (усне опитування), письмовий (індивідуальні завдання, задачі, звіти по лабораторних роботах), тестовий, лабораторний.

Форми підсумкового контролю: екзамен (семестр 4).

Засоби діагностики успішності навчання: презентації, завдання лабораторних робіт, тести, питання для поточного та підсумкового контролю, написання наукових тез та статей

Мова навчання: українська, англійська.

3. ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Тематичний план навчальної дисципліни

№ теми	Назва теми лекції, практичного, лабораторного, семінарського, індивідуального заняття	Кількість годин за формами здобуття вищої освіти:	
		очна	заочна, дистанційна
Змістовий модуль 1. Комп'ютерне моделювання в прикладній фізиці			
1	Тема: Загальна характеристика програмного забезпечення комп'ютерного моделювання фізичних процесів	7	-
	Лекція 1. Комп'ютерне моделювання фізичних процесів: цілі, методи та програмні засоби	2	-
	Лабораторна робота 1. Огляд та порівняльний аналіз програмних пакетів для комп'ютерного моделювання у прикладній фізиці	2	-
	Самостійна робота Аналіз можливостей та сфер застосування програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання фізичних процесів.	2	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
2	Тема Метод скінченних елементів	8	-
	Лекція 2. Метод скінченних елементів як основний інструмент чисельного аналізу фізичних процесів	2	-
	Лабораторна робота 2. Розв'язання простих фізичних задач методом скінченних елементів	2	-
	Самостійна робота. Вивчення сутності, переваг та основних напрямів використання методу скінченних елементів у прикладній фізиці.	3	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
3	Тема: Математичні основи методу скінченних елементів.	8	-
	Лекція 3. Математичний апарат методу скінченних елементів: варіаційні постановки та апроксимації	2	-
	Лабораторна робота 3. Побудова математичної моделі фізичної задачі для МСЕ-розрахунків	2	-
	Самостійна робота Опрацювання математичних основ методу скінченних елементів та їх ролі у формуванні чисельних моделей фізичних процесів.	3	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
4	Тема: Результати розрахунку конструкцій методом скінченних елементів	7	-
	Лекція 4 Інтерпретація та аналіз результатів МСЕ-розрахунків фізичних і інженерних систем..	2	-
	Лабораторна робота 4. Аналіз полів напружень, деформацій та переміщень за результатами МСЕ-розрахунку	2	-

	Самостійна робота. Аналіз результатів МСЕ-розрахунків конструкцій та оцінювання їх фізичної достовірності.	2	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
5	Тема: Інтерфейс та базові можливості програми Netgen	7	-
	Лекція 5. Програмний комплекс Netgen: структура, інтерфейс та основні функціональні можливості	2	-
	Лабораторна робота 5. Ознайомлення з інтерфейсом та базовими інструментами програми Netgen	2	-
	Самостійна робота. Ознайомлення з інтерфейсом і базовими можливостями програмного комплексу Netgen.	2	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
6	Тема: Вхідна мова опису механічних об'єктів у Netgen.	8	-
	Лекція 6. Вхідна мова Netgen для опису геометрії та фізичних властивостей механічних об'єктів.	2	-
	Лабораторна робота 6. Створення та редагування геометричних моделей за допомогою вхідної мови Netgen.	2	-
	Самостійна робота. Вивчення принципів опису механічних об'єктів за допомогою вхідної мови програми Netgen.	3	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
7	Тема: Автоматична генерація та аналіз 2D сіток у Netgen	8	-
	Лекція 7. Методи автоматичної генерації двовимірних скінченно-елементних сіток	2	-
	Лабораторна робота 9. Генерація та аналіз якості 2D сіток у середовищі Netgen	2	-
	Самостійна робота Дослідження методів автоматичної генерації та оцінювання якості двовимірних скінченно-елементних сіток у Netgen.	2	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
8	Тема: Генерація 3D сіток та підготовка даних для МСЕ-розрахунків	7	-
	Лекція 8 Побудова тривимірних скінченно-елементних моделей для фізичних розрахунків	2	-
	Лабораторна робота 8 Генерація 3D сіток та підготовка вхідних даних для МСЕ-аналізу	2	-
	Самостійна робота Вивчення особливостей побудови тривимірних сіток та підготовки вхідних даних для МСЕ-розрахунків	2	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
9	Тема: Архітектура системи QFEM	8	-
	Лекція 9. Архітектура універсальної системи автоматизації проектування QFEM	2	-
	Лабораторна робота 9. Ознайомлення з архітектурою та функціональними модулями системи QFEM	2	-
	Самостійна робота Аналіз архітектури та функціональних можливостей системи автоматизації проектування QFEM.	3	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
10	Тема: Геометричне моделювання у системі QFEM	7	-
	Лекція 10. Створення геометричних моделей двовимірних і тривимірних об'єктів у QFEM	2	-
	Лабораторна робота 10. Побудова 2D та 3D геометричних моделей у середовищі QFEM	2	-

	Самостійна робота Ознайомлення з методами створення двовимірних і тривимірних геометричних моделей у системі QFEM.	2	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
11	Тема: Аналіз напружено-деформованого стану у QFEM	8	-
	Лекція 11. Моделювання та аналіз напружено-деформованого стану конструкцій у системі QFEM	2	-
	Лабораторна робота 11. Дослідження напружено-деформованого стану інженерних конструкцій у QFEM	2	-
	Самостійна робота Дослідження можливостей аналізу напружено-деформованого стану об'єктів у системі QFEM.	3	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
12	Тема: Автоматизація аналізу результатів розрахунків у QFEM	7	-
	Лекція 12. Автоматизований аналіз та візуалізація результатів МСЕ-розрахунків у QFEM	2	-
	Лабораторна робота 12. Автоматизація обробки та аналізу результатів розрахунків у системі QFEM	2	-
	Самостійна робота Вивчення засобів автоматизації обробки та інтерпретації результатів чисельних розрахунків у системі QFEM.	2	-
	Самостійна робота Виконання індивідуальних завдань	1	-
Разом з дисципліни		90	

4 ОЦІНЮВАННЯ

4.1 Розподіл балів з дисципліни, які отримують здобувачі вищої освіти Семестр 4 (екзамен)

Поточне оцінювання та самостійна робота														ІЗ	Екзамен	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	T6	МК1	T7	T8	T9	T10	T11	T12	МК2			
5	5	5	5	5	5	10	5	5	5	5	5	5	10	10	10	100

4.2 Розподіл балів за видами робіт

Види робіт, що оцінюються в балах	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Усього
Виконання і захист лабораторних робіт	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	60
Індивідуальні завдання (ІЗ)	10												10
Модульний контроль (МК) (тестовий)	10						10						10
Екзамен	10												10
Всього з дисципліни													100

4.3 Критерії оцінювання

Критерії оцінювання індивідуальних робіт

Оцінювання індивідуальних робіт студентів, що виконуються у формі тез доповідей та наукових статей для студентських наукових конференцій, здійснюється з урахуванням актуальності та наукової новизни обраної теми, чіткості постановки мети і завдань дослідження, наукового рівня та коректності викладеного матеріалу, обґрунтованості отриманих результатів, логічності структури й послідовності викладу, рівня самостійності виконання роботи, дотримання вимог до оформлення та принципів академічної доброчесності, а також культури наукового мовлення.

В підсумковому оцінюванні практичних занять враховується: активність на заняття, вчасне виконання домашніх завдань. Максимальна накопичувальна оцінка вказана в таблиці розподілу балів.

Критерії оцінювання лабораторних робіт

Оцінювання виконання і захисту лабораторних робіт дисципліни здійснюється у балах, які різняться в межах кожної теми дисципліни залежно від обсягу і значимості. Розрахунок кількості балів, округлених до цілого числа, здійснюється у відсотковому відношенні до максимального балу кожної з тем, що вказаний в таблиці розподілу балів. Критерії оцінювання кожної лабораторної роботи у відсотках до максимальної кількості балів наведені в таблиці.

Оцінка (%)	Критерії оцінювання виконання та захисту лабораторних робіт
90-100	оцінюється лабораторна робота здобувача вищої освіти, якщо він виконав в повному обсязі всі необхідні вимірювання та розрахунки та зміг правильно інтерпретувати отримані результати та зробити висновки. Під час захисту лабораторних робіт демонструє повне володіння навчальним матеріалом, вільно користується спеціальною фізичною термінологією, вміє аргументувати кожну відповідь. Швидко аналізує та знаходить відповіді на нестандартні питання, не допускаючи при цьому помилок.
75-89	оцінюється лабораторна робота здобувача вищої освіти, якщо він виконав всі необхідні вимірювання, правильно порахував потрібні величини та похибки, зміг пояснити отримані результати та зробити висновки. Під час захисту лабораторних робіт демонструє повне володіння навчальним матеріалом, користується фізичною термінологією, розкриває основний зміст фізичних процесів та явищ. Але при висвітленні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються незначні помилки при відповідях на поставлені питання.
61-74	оцінюється лабораторна робота здобувача вищої освіти, якщо він виконав всі необхідні вимірювання, правильно порахував потрібні величини та похибки, зміг пояснити отримані результати та зробити висновки. Під час захисту лабораторних робіт висвітлює лише основний зміст фізичних процесів та явищ, демонструє елементарні знання окремих положень, проте не здатний швидко орієнтуватися в фізичній термінології, допускає істотні неточності та помилки при відповідях на поставлені питання, володіє лише обов'язковим мінімумом фізичних знань.
50-60	оцінюється лабораторна робота здобувача вищої освіти, якщо він виконав всі необхідні вимірювання, правильно порахував потрібні величини та похибки, але не зміг інтерпретувати результати розрахунків. При захисті теоретичного матеріалу демонструє досить поверхневі знання, не може своєчасно знайти відповідь на поставлене питання, не володіє термінологією.
1-49	оцінюється лабораторна робота здобувача вищої освіти, якщо він виконав лабораторні вимірювання, але не зміг правильно порахувати результати та похибки вимірювань, не надав правильні відповіді на контрольні питання, отже володіє навчальним матеріалом не у достатньому обсязі, а лише фрагментарно, а в окремих випадках – не розуміє матеріалу поточної теми.

Критерії оцінювання поточного та модульного контролю

Оцінювання модульного контролю здійснюється за 10-бальною шкалою у вигляді тесту у Модульному середовищі освітнього процесу КНУТД (МСОП КНУТД). Кількість балів за кожну правильну відповідь залежить від складності питань і вказується при проходженні тесту.

Критерії оцінювання екзамену

Екзамен включає в себе теоретичні питання та розрахункові задачі: 2 теоретичних питання по 3 бали та 1 практичне завдання на 4 бали. Мінімальна оцінка на екзамені не може бути меншою за 6 балів.

Відповідність шкал оцінок якості засвоєння навчального матеріалу

Оцінка за національною шкалою для екзамену, КП, КР /заліку/	Оцінка в балах	Оцінка за шкалою ECTS	Пояснення
Відмінно/ зараховано	90-100	A	Відмінно (відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок)
Добре/ зараховано	82-89	B	Дуже добре (вище середнього рівня з кількома помилками)
	74-81	C	Добре (в загальному вірне виконання з певною кількістю суттєвих помилок)
Задовільно/ зараховано	64-73	D	Задовільно (непогано, але зі значною кількістю недоліків)
	60-63	E	Достатньо (виконання відповідає мінімальним критеріям)
Незадовільно/ незараховано	35-59	FX	Незадовільно (з можливістю повторного складання)
	0-34	F	Незадовільно (з обов'язковим повторним вивченням дисципліни)

5. ПОЛІТИКА КУРСУ

- 5.1. Відвідування занять є обов'язковим, як важлива складова освітнього процесу.
- 5.2. Пропущені заняття (з поважних причин / без поважних причин) мають бути відпрацьованими в позааудиторний час.
- 5.3. За кожну виконану контрольну, індивідуальну роботу, поточний (теоретичний) контроль, тест і активність на занятті отримується кількість балів, відповідно до таблиці розподілу балів. Для отримання позитивної оцінки необхідно отримати не менше 60 відсотків від максимальної кількості балів для кожного виду робіт.
- 5.4. Списування під час контрольних робіт та екзаменів заборонено (в т. ч. із використанням мобільних пристроїв).
- 5.5. Мобільні пристрої дозволяється використовувати лише під час виконання розрахунків практичних завдань.
- 5.6. При виявленні плагіату робота не оцінюється, а виконується повторно зі зміною завдань.
- 5.7. Усі завдання, передбачені програмою, мають бути виконаними у встановлений термін. В разі несвоєчасного виконання роботи без поважних причин, бали будуть пониженими пропорційно часу запізнення..
- 5.8. Перенесення терміну здачі роботи/перездача з поважних причин (лікарняний, академічна мобільність тощо) не впливатиме на оцінку.
- 5.9. Незадовільні оцінки, отримані студентом протягом семестру мають бути перескладеними за тиждень до складання підсумкового контролю.
- 5.10. Студент має можливість зарахувати оцінку підсумкового контролю і не складати екзамен або підвищити підсумкові бали за семестр на екзамені.
- 5.11. За наукову роботу та участь в олімпіадах студенти отримують додаткові бали.

5.12. Допускається визнання результатів навчання, отриманих у неформальній освіті, при цьому рішення щодо кількості балів приймається колегіально за результатами засідання комісії, яка складається з трьох членів кафедри.

5.13. Обов'язковим є дотримання академічної доброчесності студентами, а саме:

- самостійне виконання всіх видів робіт, завдань, форм контролю, передбачених робочою програмою навчальної дисципліни «Комп'ютерне моделювання в прикладній фізиці»;
- посилення на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;
- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;
- надання достовірної інформації про результати власної навчальної (наукової) діяльності, використані методики досліджень і джерела інформації.

5.14. Будь-які конфліктні ситуації між студентом та викладачем (академічна недоброчесність, упереджене ставлення, сексуальне домагання, тощо) вирішуються на засіданні комісії, яка складається з викладача, завідувача кафедри, представника студентського самоврядування та куратора.

5.15. Оскарження оцінювання відбувається згідно з «Положенням про порядок і методику рейтингового оцінювання академічних досягнень студентів КНУТД» і таким чином: здобувач вищої освіти, який не погоджується з результатом підсумкового контролю, має право подати заяву на ім'я ректора за погодженням декана факультету / директора інституту в день проведення екзамену або не пізніше 15:00 наступного робочого дня. Для розгляду апеляції протягом трьох робочих днів після подачі заяви на факультеті / інституті наказом ректора створюється апеляційна комісія в такому складі: голова комісії (проректор, декан факультету / директор інституту, їх заступники або директор Навчально-методичного центру управління підготовкою фахівців), секретар та члени комісії (обов'язково має бути представник від студентського самоврядування). Апеляційна комісія оцінює письмові відповіді студента, який подав апеляцію, на кожне завдання окремо за критеріями, що визначені в робочій програмі навчальної дисципліни. Додаткове опитування студента під час розгляду його роботи не допускається. Апеляційна комісія після розгляду апеляції студента ухвалює одне з двох рішень: або виставлена оцінка з навчальної дисципліни відповідає рівню і якості виконаної роботи та не змінюється, або виставлена оцінка з навчальної дисципліни не відповідає рівню і якості виконаної роботи та збільшується / зменшується на певну кількість балів (указується нова оцінка та бали відповідно до прийнятої системи оцінювання знань).

6 Рекомендована література

Основна

1. Комп'ютерне моделювання фізичних процесів. Створення та дослідження фізичних моделей чисельним методом : навч. посіб. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 130 с.
2. Котовський В. Й., Цибульський Л. Ю. Комп'ютерне моделювання фізичних процесів : навч. посіб. Київ, 2024. 160 с.
3. Степанов О. В., Богомол Ю. І., Мініцький А. В. Комп'ютерне моделювання методом скінченних елементів : комп'ютерний практикум. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 180 с.
4. Bathe K.-J. Finite Element Procedures / K.-J. Bathe. – 2nd ed. – Cambridge : MIT Press, 2020. – 1037 p.
5. Brenner S. C., Scott R. The Mathematical Theory of Finite Element Methods. – 4th ed. – New York : Springer, 2022. – 397 p.
6. Donea J., Huerta A. Finite Element Methods for Flow Problems. – 2nd ed. – Hoboken : Wiley, 2020. – 350 p.
7. Fish J., Belytschko T. A First Course in Finite Elements / J. Fish, T. Belytschko. – Hoboken : Wiley, 2020. – 368 p.
8. Hughes T. J. R. The Finite Element Method : Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis. – New York : Dover Publications, 2019. – 682 p.

9. Ibrahimbegović A. Structural Engineering : Models and Methods for Statics, Instability and Inelasticity / A. Ibrahimbegović, R. A. Mejia-Nava. – Cham : Springer, 2023. – 512 p.
10. Lavrik, V., Bohdanov, I., Alieksieieva, H., Antonenko, O., & Ovsyannikov, O. (2025). Development of a procedure for calculating problems in the mechanics of elastomers based on the open modeling language. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(7 (134), 23–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.326219>.

Додаткова

1. Logan D. L. A first course in the finite element method. 7th ed. Boston : Cengage Learning, 2022. 944 p.
2. Logg A., Mardal K.-A., Wells G. Automated Solution of Differential Equations by the Finite Element Method. – Berlin : Springer, 2021. – 512 p.
3. Multiphysics Modeling with Finite Element Methods / ed. by E. Madenci. – Singapore : Springer, 2022. – 389 p.
4. Quarteroni A., Saleri F., Gervasio P. Scientific Computing with MATLAB and Octave. – 4th ed. – Berlin : Springer, 2022. – 430 p.
5. Rahman B. M. A. Finite Element Modeling Methods for Photonics / B. M. A. Rahman, A. Agrawal. – Boca Raton : CRC Press, 2021. – 418 p.
6. Szabó B., Babuška I. Introduction to Finite Element Analysis : Formulation, Verification and Validation. – Hoboken : Wiley, 2021. – 420 p.
7. Zienkiewicz O. C. The Finite Element Method : Its Basis and Fundamentals / O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor, J. Z. Zhu. – 8th ed. – Oxford : Elsevier, 2021. – 756 p.
8. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Govindjee S. The finite element method: its basis and fundamentals. 8th ed. Oxford : Elsevier, 2024. 756 p.

7 Інтернет-ресурси

1. Модульне середовище: <http://msnp.knutd.edu.ua>
2. **Netgen / NGSolve** : офіційна документація та навчальні матеріали з генерації 2D та 3D сіток методом скінченних елементів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ngsolve.org>
3. **Netgen User Manual** : довідковий посібник користувача з опису геометричних об'єктів та автоматичної генерації сіток [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docu.ngsolve.org>
4. **QFEM System** : офіційний сайт універсальної системи автоматизації проектування та МСЕ-аналізу інженерних конструкцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.qfem.com>
5. **QFEM Documentation** : довідкові та навчальні матеріали з побудови геометричних моделей і аналізу напружено-деформованого стану [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.qfem.com/documentation>.
6. **MIT OpenCourseWare – Finite Element Method** : відкриті лекційні матеріали з теорії та практики методу скінченних елементів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ocw.mit.edu>.
7. **FreeFEM** : відкрите програмне середовище для чисельного моделювання фізичних процесів методом скінченних елементів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://freefem.org>.
8. **Wolfram MathWorld** : довідковий математичний ресурс з чисельних методів та математичних основ МСЕ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mathworld.wolfram.com>.

ПЕРЕЗАТВЕРДЖЕНО на 20___/20___н. р.

Протокол засідання кафедри від “_____” _____ 20___ р. № _____

Завідувач кафедри _____

ПЕРЕЗАТВЕРДЖЕНО на 20___/20___н. р.

Протокол засідання кафедри від “_____” _____ 20___ р. № _____

Завідувач кафедри _____

ПЕРЕЗАТВЕРДЖЕНО на 20___/20___н. р.