

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«СУЧАСНІ ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ МЕХАНІКИ ДЕФОРМІВНОГО ТІЛА»

Галузь знань	<i>F Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>F1 Прикладна математика</i>
Освітня програма	<i>Механіка деформівного твердого тіла і теоретична механіка</i>
Освітній рівень	<i>доктор філософії</i>
Статус дисципліни	<i>вибіркова</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Курс / семестр	<i>2 курс, 3(4) семестр</i>
Кількість кредитів ЄКТС	<i>4 кредити (120 годин)</i>
Розподіл за видами занять та годинами навчання	<i>Лекції – 22 год.</i>
	<i>Практичні – 38 год.</i>
	<i>Самостійна робота – 60 год.</i>
Форма підсумкового контролю	<i>Залік</i>
Відділ	<i>Теорії коливань</i>
Викладач (-і)	<i>докт. фіз.-мат. наук, проф., Янчевський Ігор Владиславович</i>
Контактна інформація викладача (-ів)	<i>i.yanchevskyi@gmail.com, тел. +38-044-456-12-80</i>
Дні занять	<i>За розкладом</i>
Консультації	<i>on-line (zoom: 6734423064; password: ****)</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна «Сучасні чисельні методи розв'язання прикладних задач механіки деформівного тіла» є важливою складовою циклу професійної підготовки фахівців третього освітньо-наукового рівня “доктор філософії” спеціальності «Прикладна математика», які навчаються за освітньо-науковими програмами «Механіка деформівного твердого тіла» та «Теоретична механіка».

Сучасний інтенсивний розвиток науки і техніки висуває перед науковцями численні запити на розробку нових та удосконалення наявних методів та підходів до розв'язання прикладних задач механіки. При цьому складність постановок таких задач і нагальність результатів визначає ключову роль саме чисельних методів до їх розв'язання і програмних

пакетів, які їх реалізують. Тому вміння молодих науковців у формуванні коректних постановок задач, вибору ефективного чисельного методу для їх розв'язання та критичного осмислення отриманих результатів відіграє важливу роль як у науковому контексті, так і у прикладному.

Метою навчальної дисципліни «Чисельні методи розв'язання задач прикладної математики» є ознайомлення аспірантів з теоретичними основами чисельних методів механіки, які використовуються при розв'язанні прикладних задач механіки суцільних середовищ, і набуття вмінь застосовувати спеціалізоване прикладне програмне забезпечення, яке реалізовує ці методи.

Предметом навчальної дисципліни є ефективні комп'ютеризовані чисельні методи алгебри, які використовуються при розв'язанні крайових задач механіки деформівного твердого тіла і механіки рідин та газу.

Головними завданнями вивчення навчальної дисципліни «Сучасні чисельні методи розв'язання прикладних задач механіки деформівного тіла» є формування цілісної системи знань, практичних навичок та компетентностей, потрібних для побудови наближених розв'язків широкого класу прикладних задач механіки із застосуванням сучасних систем комп'ютерної математики при проведенні самостійних кваліфікованих наукових досліджень:

- Загальні компетентності: ЗК1 – ЗК6 (відповідно до переліку загальних компетентностей ОНП).
- Спеціальні (фахові) компетентності: СК1 – СК7 (відповідно до переліку спеціальних компетентностей ОНП).
- Загальні програмні результати навчання: ПРН1 – ПРН5, ПРН8 (відповідно до переліку програмних результатів навчання ОНП).

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен знати:

- основну класифікацію сучасних методів чисельного аналізу в механіці та основні групи чисельних методів, які використовуються при розв'язанні крайових задач механіки деформівного тіла;
- сучасні тенденції та напрями розвитку розглянутих в курсі методів чисельного аналізу задач механіки, їх основні переваги та недоліки;
- побудова чисельних схем розв'язання деяких задач механіки на основі методів скінченних різниць, скінченних елементів, сплайн-колокацій, нейронних мереж та ін.;

вміти:

- обґрунтовано обрати чисельний метод для конкретної задачі механіки;
- коректно здійснювати побудову чисельної моделі та скласти програми розрахунку у відповідності з обраним методом, у т.ч. для тіл зі складною геометрією, структурою та змішаними граничними умовами;
- використовувати деякі програмні комплекси, що реалізують розглянуті у курсі чисельні методи;
- уточнювати параметри розрахункової моделі та редагувати програмний код на підставі аналізу отриманих результатів;
- інтерпретувати результати розрахунку та подавати їх у необхідному вигляді.

2. Пререквізити та пост реквізити (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Навчальна дисципліна орієнтована на аспірантів, які вже знайомі з дисциплінами професійної та практичної підготовки фахівців-механіків, зокрема з курсами вищої математики, механіки суцільних середовищ, математичної фізики та обов'язкових курсів освітньо-наукової програми ДВІ І та ДВІ ІІ, які вивчаються на першому курсі аспірантури.

Цією дисципліною забезпечуються подальша професійна підготовка фахівців освітньо-наукового рівня “доктор філософії”, зокрема при вивченні дисциплін, «Поширення хвиль з врахуванням структурних рівнів матеріалів та базових властивостей деформування матеріалів», «Чисельний аналіз механічної поведінки оболонкових систем», «Нелінійна теорія оболонок з отворами», «Динаміка структурно неоднорідних оболонок», тощо.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ до курсу.

Тема 2. Метод скінченних різниць

Тема 3. Метод скінченних елементів

Тема 4. Інші чисельні методи в механіці

4. Навчальні матеріали та ресурси

4.1. Основна література

1. Дубенець В.Г., Хільчевський В.В., Савченко О.В. *Основи методу скінченних елементів: Навч. посібник.* – Чернігів: ЧДТУ, 2007. – 288 с. URL: <https://ir.stu.cn.ua/server/api/core/bitstreams/826e4fb5-f1e8-44a2-95b3-6a12dee28b7d/content> (дата звернення: 14.06.2025)
2. Лавренюк М.В., Семенович К.О. *Чисельно-аналітичні методи розв'язання задач механіки суцільних середовищ: Навч. пос.* – Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2024. – 133 с. URL: https://drive.google.com/file/d/1gWMHNJ4Zr7c7NUcLyHoabsuIQ9FImKjO/view?usp=drive_link (дата звернення: 14.06.2025)
3. Рудаков К.М. *Числові і аналітичні методи аналізу динаміки і міцності машин та стійкості руху : Навч. посібник.* – Київ : Політехніка, 2022. – 120 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/2d01a788-7528-423a-a7b4-3e90e44dd5c6/content> (дата звернення: 14.06.2025)
4. Трушевський В.М., Шинкаренко Г.А., Щербина Н.М. *Метод скінченних елементів і штучні нейронні мережі. Теоретичні аспекти та застосування* – Львів : Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2014. – 394 с.
5. Янчевський І. В. *Нестационарні коливання біморфних електропружних тіл.* – Київ: Політехніка, 2023. – 448 с.
6. Grigorenko A.Ya., Müller W.H., Loza I.A. *Selected Problems in the Elastodynamics of Piezoceramic Bodies.* – Springer, 2021. – 227 p. DOI: [10.1007/978-3-030-74199-0](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74199-0)

4.2. Додаткова література

7. Ванін В. А. Математичні моделі та чисельні методи в задачах механіки суцільного середовища : Навч.-метод. посібник. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – 209 с. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstreams/d6758a54-b9e4-468f-ae02-6bb318daf3b6/download> (дата звернення: 14.06.2025).
8. Гребенюк С. М., Гоменюк С. І. Чисельні методи розв'язання механічних задач: навч. пос. – Запоріжжя : Запорізький нац. ун-т, 2022. – 80 с. URL: <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/11877/1/HREBENIUKHOMENIUK.pdf> (дата звернення: 14.06.2025).
9. Гришанова І.А., Згуровська Л.П., Киричук Ю.В. Розв'язок задач проектування приладів та систем з використанням ANSYS і MathCAD. – Київ : Вид-во «Політехніка», 2022. – 180 с. URL: <https://ela.kpi.ua/items/0b46c572-806e-42bb-a346-01c6d415b08d> (дата звернення: 02.09.2025)
10. Журавков М. А. Сучасні чисельні методи в механіці : Курс лекцій. – Мн. : БДУ, 2022. – 132 с. URL: [https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/286556/1/Современные численные методы в механике.pdf](https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/286556/1/Современные_численные_методы_в_механике.pdf) (дата звернення: 14.06.2025).
11. Подільчук І. Ю. Розрахунок вільних поздовжніх коливань стрижня методом сплайн-колокації // Прикл. проблеми механіки і математики. – 2021. – Вип. 19. – С. 25–29. DOI: [10.15407/apmm2021.19.25-29](https://doi.org/10.15407/apmm2021.19.25-29).
12. Nikolić M., Roje-Bonacci T., Ibrahimbegović A. Overview of the numerical methods for the modelling of rock mechanics problems // Tehnički vjesnik. – 2016. – Vol. 23, Iss. 2. – P. 627-637. DOI: [10.17559/TV-20140521084228](https://doi.org/10.17559/TV-20140521084228)
13. Reddy J.N. Computational Methods in Engineering. Finite Difference, Finite Volume, Finite Element, and Dual Mesh Control Domain Methods. – CRC Press, 2024. – 595 p. DOI: [10.1201/9781003382812](https://doi.org/10.1201/9781003382812)

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Тема 1. Вступ до курсу Вступ до дисципліни. Загальна характеристика чисельних методів механіки. Сучасна класифікація чисельних методів, їх коротка характеристика.
2	Тема 2. Метод скінченних різниць. Ідея та принципи методу скінченних різниць та його сучасні реалізації. Скінченно-різницева наближення диференціальних операторів.
3	Скінченно-різницева наближення крайових задач: одновимірна лінійна та нелінійна задачі Діріхле, одновимірна та двовимірна змішані задачі.
4	Тема 3. Метод скінченних елементів. Локальні функції та перехід від методу Рітца до МСЕ. Алгоритм та основні принципи МСЕ.
5	Використання МСЕ для розрахунку статички стержнів та балок та його програмна реалізація. Сучасні пакети, що реалізують технології методу скінченних елементів.
6	Особливості використання методу. Моделювання нелінійності та неоднорідної структури. Метод суперелементів. Джерела похибок. Збіжність методу.

7, 8	Тема 4. Інші чисельні методи в механіці. Поліноміальні сплайни. В-сплайни. Метод сплайн-колокації. Метод дискретної ортогоналізації.
9, 10	Метод нейронних мереж. Числово-експериментальні підходи. Основні визначення. Типи нейронних мереж.
11	Дискретні та гібридні методи. Основні визначення. Принципи побудови гібридних моделей. Класифікація, основні області використання методів..

Практичні заняття

№	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Тема 1. Вступ до курсу. Метод Рітца. Варіаційний принцип Гамільтона-Остроградського. Метод зважених невязок.
2	Тема 2. Метод скінченних різниць. Сучасні пакети, що реалізують методи скінченних різниць.
3, 4	Просторово-часове наближення нестационарних крайових задач. Основні наближення для часових диференціальних операторів
5	Тема 3. Метод скінченних елементів Розробка програми для розрахунку на міцність пружної балки на основі МСЕ.
6	Застосування МСЕ до розрахунку пластин з ортотропного матеріалу. Випадок нелінійних деформацій
7	Розрахунок оболонки на стійкість у програмному комплексі, що реалізує МСЕ.
8	Дослідження вимушених коливань складної у плані пластини без демпфування.
9	Методи аналізу нестационарних в'язкопружних коливань елементів конструкцій.
10	Розрахунок температурних деформацій і напружень в стержнях змінного поперечного перерізу.
11	Специфіка розв'язання задач для тіл з електропружних матеріалів.
12	Тема 4. Інші чисельні методи в механіці. Розрахунок вільних поздовжніх коливань стрижня методом сплайн-колокації.
13	Зниження вимірності рівнянь теорії пружності узагальненим методом прямих.
14, 15	Приклади застосування методу нейронних мереж для розв'язання задач механіки.
16	Приклади задач, реалізованих на основі гібридних моделей
17	Семестровий контроль
18	Залік

6. Самостійна робота аспіранта

№	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин
1	Опрацювання матеріалу лекції 1. [1, 2, 3]	1
2	Теорія напружено-деформованого стану. Алгебраїзація крайових задач. Основні етапи побудови чисельних моделей вибраних груп методів. [1, 4, 10, 12, 13]	2
3	Опрацювання матеріалу лекцій 2, 3. [3, 7]	2
4	Сучасні підходи до побудови сіток. Основні вимоги до просторово-часових схем. [3, 7, 13]	2

5	<i>Опрацювання матеріалу лекцій 4–6. [1, 3, 4]</i>	3
6	<i>Дослідження пружно-пластичної поведінки призматичного стержня прямокутного перерізу методом Галеркіна та методом скінченних елементів. Автоматизація побудови сітки СЕ для плоских пластинчастих конструкцій. Використання ізопараметричних елементів. Розв'язання задач теплопровідності методом СЕ. Основні переваги різних класів континуальних методів та їх недоліки при розв'язанні різноманітних типів задач механіки. [1, 3, 5, 13]</i>	4
7	<i>Опрацювання матеріалу лекцій 7–11. [3, 6]</i>	6
8	<i>Інші різновиди континуальних методів. Інші різновиди дискретних методів. Інші різновиди гібридних/спряжених методів. [3, 6, 10, 12, 13]</i>	4
9	<i>Підготовка до контрольної роботи</i>	18
10	<i>Виконання індивідуального завдання</i>	18

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Очікується, що аспіранти вже знайомі з основними принципами академічної доброчесності, самостійно виконують усі навчальні завдання, коректно посилаються на використані джерела інформації при написанні власного наукового дослідження або навчальної роботи, тощо. Неприпустимим є списування при написанні контрольної роботи та при складанні заліку (у тому числі з використанням мобільних пристроїв). У разі виявлення ознак академічної недоброчесності робота аспіранта не зараховується.

За погодженням з керівником курсу та керівником аспірантури навчання може відбуватися в дистанційному форматі. При цьому для ефективної дистанційної роботи підключення має здійснюватися з ЕОМ з мікрофоном та веб-камерою. Рекомендовано також мати два монітори для більш зручної роботи.

Відвідування лекційних занять є рекомендованим, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, які необхідні для виконання індивідуального завдання і при роботі на практичних заняттях.

Відвідування практичних занять є обов'язковим. На цих заняттях аспіранти опановують методики розрахунків з використанням відповідних чисельних методів. У разі відсутності аспіранта на практикумі, у тому числі за станом здоров'я, йому необхідно пропущене заняття відпрацювати. На одній консультації (2 акад. год.) можна відпрацювати лише один пропущений комп'ютерний практикум. Час проведення консультацій узгоджується з викладачем курсу.

На початку курсу також обговорюється тема індивідуального домашнього завдання, яка безпосередньо пов'язана з науковими дослідженнями аспіранта. Звіт з виконаним домашнім індивідуальним завданням захищається на останньому занятті до початку залікового тижня.

Написання модульної контрольної роботи є обов'язковим. Якщо аспірант пропустив МКР з поважної причини, наприклад, за станом здоров'я, то за наявності підтверджуючого документа (довідки) він може впродовж тижня написати пропущену контрольну роботу. В

іншому випадку МКР не оцінюється. Перескладання контрольної роботи на вищу оцінку є неможливим.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль проводиться з метою перевірки якості роботи аспіранта в аудиторії і самостійної роботи в позааудиторний час шляхом усного опитування чи самостійних письмових робіт тривалістю 10–20 хвилин, або індивідуальних домашніх завдань впродовж семестру. Проводиться декілька разів (2 – 4) з максимальною сумарною оцінкою у 20 балів.

Календарний контроль – модульна контрольна робота, яка проводиться на 10му тижні семестру як моніторинг поточного стану виконання вимог Силабусу (20 балів максимально).

Семестровий контроль: залік, на який виносяться одне теоретичне запитання і одна задача, які оцінюються за бальною системою (20 балів максимально).

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне домашнє завдання (24 бали із 40 максимальних) та зарахування календарного контролю.

Заохочується представлення доповіді на наукових конференціях, семінарах, подання статті в журнал за тематикою курсу і додатково оцінюється у 10 балів.

Відповідність системи оцінювання Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України шкалі оцінювання ЄКТС та національній системі оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
		для екзамену / заліку
90 – 100	A	відмінно
82 – 89	B	добре
74 – 81	C	
64 – 73	D	задовільно
60 – 63	E	
35 – 59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0 – 34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Більш детальну інформацію щодо компетентностей, результатів навчання, методів навчання, форм оцінювання, самостійної роботи наведено у робочій програмі навчальної дисципліни, див. сайт Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України.

Силабус ухвалено на засіданні Науково -методичної ради Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України « 19 » червня 2025 р., протокол № 3

Силабус затверджено на засіданні Вченої ради Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України « 26 » червня 2025 р., протокол № 9