

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЙ ТА РЕОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В НЕЛІНІЙНІЙ ТЕОРІЇ В'ЯЗКОПРУЖНОСТІ»

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 ЄКТС</i>
Розподіл за видами занять та годинами навчання	<i>Лекції 20 год.</i>
	<i>Практичні – 20 год.</i>
	<i>Самостійна робота – 80 год.</i>
Форма підсумкового контролю	<i>Залік</i>
Відділ	<i>механіки повзучості</i>
Викладач	<i>доктор фіз.-мат. наук, с.н.с., Борис Петрович Маслов</i>
Контактна інформація викладача	<i>maslov@inmtech.kyiv.ua, тел. +38-044-5967748</i>
Дні занять	<i>За розкладом</i>
Консультації	<i>За домовленістю викладача з аспірантом оф-лайн або он-лайн</i>
<i>Програма навчальної дисципліни</i>	

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

Сучасний розвиток науки і техніки висуває перед науковцями численні запити на розробку нових та удосконалення наявних методів та підходів до розв'язання прикладних задач механіки матеріалів. При цьому складність постановок таких задач і нагальність результатів визначає роль саме чисельно-аналітичних методів до їх розв'язання, програмних пакетів, які їх реалізують та основних методів експериментальної верифікації. Тому вміння молодих науковців у формуванні коректних постановок задач, вибору сучасного чисельно-аналітичного методу для їх розв'язання та експериментальної апробації отриманих результатів відіграє важливу роль як у науковому контексті, так і у прикладному.

Метою навчальної дисципліни «Методи визначення функцій та реологічних параметрів в нелінійній теорії в'язкопружності» є ознайомлення аспірантів з теоретичними основами аналітичних та чисельних методів механіки, які використовуються при розв'язанні прикладних задач механіки суцільних в'язкопружних 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 спадкової повзучості.

Головними завданнями вивчення навчальної дисципліни «Методи визначення функцій та реологічних параметрів в нелінійній теорії в'язкопружності» є формування базової системи знань, практичних навичок та компетентностей, потрібних для побудови моделей широкого класу матеріалів зі спадковими властивостями 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 механіки спадкових середовищ та основні групи чисельних методів, які використовуються при розв'язанні крайових задач прогнозування довготривалої міцності;
- сучасні тенденції та напрями розвитку розглянутих в курсі методів чисельного аналізу задач механіки, експериментальні способи апробації;
- побудова чисельних схем розв'язання задач механіки спадкової повзучості на основі методів скінченних елементів;

вміти:

- обґрунтовано обрати чисельно-аналітичний метод для конкретної задачі механіки руйнування;
- коректно здійснювати побудову чисельної моделі та складати програми розрахунку у відповідності з обраним методом, у т.ч. для тіл зі складною геометрією та структурою;
- використовувати деякі відомі 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 «Методи визначення функцій та реологічних параметрів в нелінійній теорії в'язкопружності» 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 ОК4 та ОК5, які вивчаються на першому курсі аспірантури.

Цією дисципліною забезпечуються подальша професійна підготовка фахівців освітньо-наукового рівня “доктор філософії”, зокрема при вивченні дисциплін «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. Інтегральна форма визначальних рівнянь в теорії в'язкопружності

Тема 3. Одновимірна та тривимірна лінійна теорія в'язкопружності

Тема 4. Одновимірна та тривимірна нелінійна теорія в'язкопружності

Тема 5. Крайові задачі в теорії в'язкопружності

4. Навчальні матеріали та ресурси

4.1. Основна література

1. Булат А. Ф., Дирда В. І., Карнаухов В. Г. (2013). Термомеханічна теорія в'язкопружних тіл. Київ: Наукова думка. Brinson H.F., Brinson L.C. Polymer Engineering Science and Viscoelasticity An Introduction. - New York: Springer, 2015. — 482 p.
2. Будак В.Д., Жук Я.О. Механіка суцільних середовищ. Миколаїв: Іліон, 2011. – 160 с.
3. Golub V.P., Maslov B.P., Fernati P.V. Identification of the Hereditary Kernels of Isotropic Linear Viscoelastic Materials in Combined Stress State. I. Superposition of Shear and Bulk Creep // Int. Appl. Mech. – 2016. – 52, N 2. – P. 165 – 174.
4. Golub V.P., Maslov B.P., Fernati P.V. Identification of the Hereditary Kernels of Isotropic Linear Viscoelastic Materials in Combined Stress State. II. Deviators Proportionality // Int. Appl. Mech. – 2016. – 52, N 6. – P.111 – 125.
5. Маслов Б.П. Побудова критерію довготривалого руйнування внаслідок повзучості тонкостінних шаруватих структур Прикл. мех. - 2024.- **60**, №5. - С. 18 - 29.
6. Maslov B.P. Development of Criterion for Long-Term Failure Due to Creep of Thin-Walled Layered Structures Int. Appl. Mech., Vol. 60, Number 1 January, 2025, pp. 18-29. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10778-025-01304-1>
7. Maslov, B. Nonlinear Hereditary Creep of Transversely Isotropic Composites of Random Structure, In: Advanced Structured Materials, 2023, 191, pp. 367–390. , vol 191. Springer, Advances in Mechanics Current Research Results of the NAS of Ukraine https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-37313-8_21

8. Маслов Б.П. Побудова критерію довготривалого руйнування втоми для тонкостінних шаруватих оболонок. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, випуск №2, 2023, Серія фізико-математичні науки, сс. 136-139. [https://DOI: 10.17721/1812-5409.2023/2.22](https://doi.org/10.17721/1812-5409.2023/2.22)
9. Maslov B.P. Combined Numerical and Analytical Determination of Poisson's Ratio for Viscoelastic Isotropic Materials // Int. Appl. Mech. – 2018. – 54, N 2. – P. 220 – 230.

4.2. Додаткова література

1. Maslov, B. Nonlinear Hereditary Creep of Transversely Isotropic Composites of Random Structure Advanced Structured Materials, 2023, 191, pp. 367–390. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-37313-8_21
2. Голуб В.П., Павлюк Я.В., Резник В.С. К расчету деформаций ползучести и релаксации напряжений в тонкостенных трубчатых элементах из линейно-вязкоупругих материалов. 1. Суперпозиция сдвиговой и объемной ползучести // Прикл. механика, 2020. – Том 56, №2. – С. 36-52. <http://irbis-nbuv.gov.ua/publ/REF-0000760718>
3. Голуб В.П., Павлюк Я.В., Резник В.С. Щодо розрахунку деформацій повзучості тонкостінних трубчастих елементів із лінійно-в'язкопружних матеріалів за умов розтягу із крученням // Прикл. механіка, 2022. – Том 58 (68), №2. – С. 46-57. <http://pm.inmech.kiev.ua/archive/?article=1496>
4. Maslov B.P. Nonlinear Hereditary Creep of Isotropic Composites of Random Structure // Int. Appl. Mech. – 2022. – 58, N 1. – P. 75 – 90.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

№	<i>Назва теми лекції та перелік основних питань</i>
1.	<p>Особливості процесів повзучості та релаксації напружень в ізотропних лінійно- та нелінійно-в'язкопружних матеріалах.</p> <p>Загальна характеристика в'язкопружних матеріалів, ефекти пам'яті, функції повзучості та швидкості повзучості, області лінійності та нелінійності в'язкопружних властивостей. Аналітичне представлення первісних експериментальних даних, функцій повзучості та ізохронних діаграм повзучості за допомогою згладжуючих кубічних сплайнів.</p>
2.	<p>Інтегральні часові оператори. Ядра спадковості та аналітичні форми представлення ядер.</p> <p>Інтегральні рівняння Вольтерра другого роду типу згортки, інтегральний часовий оператор Рімана, інтегральний часовий оператор Стілт'еса, механічний та фізичний сенс ядер спадковості, основні вимоги до ядер спадковості. Аналітична інтерпретація</p>

	<p>ядер спадковості: степеневі функції, сума степеневих функцій, експоненційні функції, сума експонент, комбінації степеневих та експоненційних функцій, дробово-експоненційна функція, сплайн-апроксимації.</p>
3.	<p>Система базових експериментів. Методи визначення базових функцій та параметрів базових ядер спадковості</p> <p>Повздовжня та поперечна повзучість за умов одновісного розтягу, зсувна повзучість за умов чистого скручення. Сплайн-апроксимація базових експериментальних даних, дискретизація ядер спадковості, методика визначення параметрів апроксимуючих функцій, особливості розподілу дискретних значень ядер в області сингулярності, метод вагових функцій.</p>
4.	<p>Тривимірна лінійна теорія в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення</p> <p>Одновимірні визначальні рівняння повзучості та релаксації напружень спадкового типу, узагальнення одновимірних визначальних рівнянь в'язкопружності на складний напружений стан виходячи із гіпотези суперпозиції об'ємної та зсувної повзучості та виходячи із гіпотези пропорційності девіаторів, врахування впливу виду напруженого та деформованого станів, зведення тривимірних моделей в'язкопружності до одновимірних.</p>
5.	<p>Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в тривимірній лінійній теорії в'язкопружності</p> <p>Функціональні залежності між ядрами спадковості за умов складного та одновимірного напружених станів, залежності між ядрами спадковості виходячи із суперпозиції об'ємної та зсувної повзучості, залежності між ядрами спадковості виходячи із гіпотези пропорційності девіаторів тензорів деформацій та напружень.</p>
6.	<p>Нелінійна одновимірна теорія в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення</p> <p>Модифікований принцип суперпозиції, кратно-інтегральне представлення Вольтерра-Фреше, кубічна теорія в'язкопружності, умова подібності первісних кривих повзучості, умова подібності ізохронних діаграм повзучості, функції нелінійності в'язкопружних властивостей, зведення нелінійних моделей в'язкопружності до лінійної теорії Больцмана-Вольтерра.</p>
7.	<p>Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в нелінійній одновимірній теорії в'язкопружності</p> <p>Визначення параметрів ядер спадковості за функцією повзучості, визначення функції нелінійності та параметрів функції, визначення параметрів ядер спадковості в нелінійній області виходячи із умови узгодження функцій повзучості в лінійній та</p>

	нелінійній областях. Визначення параметрів ядер спадковості за результатами апроксимації умови подібності ізохронних діаграм повзучості.
8.	Нелінійна тривимірна теорія в'язкопружності. Основні визначальні співвідношення Кратно-інтегральне представлення Вольтерра-Фреше, гіпотеза пропорційності девіаторів тензорів деформацій та напружень, гіпотеза єдиної діаграми довготривалого деформування у координатах „інтенсивність деформацій ” за умови – інтенсивність напружень , модифікована нелінійна модель в'язкопружності Работнова, функції нелінійності, врахування впливу виду напруженого стану, зведення нелінійних моделей в'язкопружності до лінійної моделі.
9.	Методи визначення функцій та параметрів ядер спадковості в нелінійній тривимірній теорії в'язкопружності Апроксимація функцій нелінійності згладжуючими кубічними сплайнами та визначення параметрів апроксимації, встановлення співвідношень між ядрами об'ємної повзучості, ядрами інтенсивності деформацій повзучості та ядрами повздовжньої та поперечної повзучості за умов одновісного розтягу, а також ядрами повздовжньої та зсувної повзучості, дискретизація ядер об'ємної повзучості та інтенсивності деформацій повзучості згідно встановлених співвідношень, апроксимація дискретних значень ядер обраними аналітичними функціями та визначення параметрів ядер.
10.	Розв'язок задач повзучості та релаксації напружень в елементах конструкцій із нелінійно-в'язкопружних матеріалів Постановка задачі теорії в'язкопружності, система розв'язкових рівнянь, основні методи розв'язку системи рівнянь теорії в'язкопружності, розв'язок задач повзучості та релаксації напружень в елементах конструкцій із нелінійно-в'язкопружних матеріалів. Експериментальна апробація результатів розрахунків, методи врахування статистичної природи в'язкопружних властивостей матеріалів, критерії узгодження результатів розрахунків із експериментальними даними.

Практичні заняття

№	Назва теми занять та перелік основних питань
1.	Математичне обґрунтування подібності первісних кривих повзучості та ізохронних діаграм повзучості.
2.	Порівняльний аналіз структур та властивостей ядер спадковості.
3.	Сплайн-апроксимація базових експериментальних даних.
4.	Обґрунтування основних гіпотез та спрощуючі припущень при формулюванні форм зв'язку між компонентами тензорів деформацій та напружень.
5.	Дискретизація ядер повзучості за умов одновимірного та складного напруженого станів. Апроксимація дискретних значень ядер повзучості.
6.	Обґрунтування гіпотези подібності первісних кривих повзучості та гіпотези подібності ізохронних діаграм повзучості.

7.	Методика дискретизації ядер спадковості в лінійній та нелінійній областях в'язкопружності. Апроксимація дискретних значень ядер спадковості із врахуванням вагових функцій.
8.	Встановлення фізичного змісту ядер об'ємної повзучості та релаксації напружень, ядер інтенсивності деформацій повзучості та інтенсивності релаксації напружень.
9.	Завдання нелінійності в'язкопружних властивостей нелінійністю діаграми миттєвого деформування. Дискретизація ядер зсувної та об'ємної повзучості. Методика апроксимації дискретних значень ядер повзучості.
10.	Експериментальна апробація результатів розрахунків, методи врахування статистичної природи в'язкопружних властивостей матеріалів, критерії узгодження результатів розрахунків із експериментальними даними.

6. Самостійна робота аспіранта

№	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
1.	1. Вивчення матеріалу лекції 2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення: • Загальна характеристика в'язкопружних матеріалів з ефектом пам'яті та методи його інтерпретації	8
2.	1. Вивчення матеріалу лекції 2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення: • Аналітичні зв'язки між функціями повзучості та ядрами повзучості, між ядрами повзучості та ядрами релаксації.	8
3.	1. Вивчення матеріалу лекції 2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення: • Порівняльний аналіз структур ядер спадковості за умов одновісного розтягу та чистого кручення	8
4.	1. Вивчення матеріалу лекції 2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення: • Методи узагальнення одновимірних визначальних рівнянь лінійної теорії в'язкопружності на складний напружений стан.	8
5.	1. Вивчення матеріалу лекції 2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення: • Вибір та обґрунтування системи базових експериментів при	8
6.	1. Вивчення матеріалу лекції 2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення: • Порівняльний аналіз гіпотез подібності первісних кривих повзучості та ізохронних діаграм повзучості. • Обґрунтування найбільш ефективних напрямків модифікації існуючих гіпотез.	8
7.	1. Вивчення матеріалу лекції	8

	<p>2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Визначення області лінійності та не лінійності вязкопружних властивостей за рівнем напружень. • Модифікація методу визначення параметрів ядер спадковості в гіпотезі подібності ізохронних діаграм повзучості. 	
8.	<p>1. Вивчення матеріалу лекції</p> <p>2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Обґрунтування методів та гіпотез узагальнення одновимірних визначальних рівнянь в'язкопружності на складний напружений стан. 	8
9.	<p>1. Вивчення матеріалу лекції</p> <p>2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Вибір та обґрунтування залежності між тензорами деформацій та напружень у формі пропорційності девіаторів. • Формулювання залежностей між ядрами спадковості за умов складного та одновимірного напружених станів. 	8
10.	<p>1. Вивчення матеріалу лекції</p> <p>2. Опрацювання матеріалу, що винесено на самостійне вивчення:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Чисельно-аналітичні методи розв'язку задач повзучості та релаксації напружень в елементах конструкцій із в'язкопружних матеріалів. 	8

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 відбуватись 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 одне практичне заняття. Час проведення консультацій узгоджується з викладачем курсу.

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.

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

Рейтинг аспіранта з даної дисципліни складається з балів, що він отримує за:

1. Експрес-контроль – 20 балів.
2. Активну роботу на практичних заняттях - 20 балів.
3. Модульні контрольні роботи -20 балів (2x10=20)
3. Залік - 40 балів.

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

Експрес-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 – 30 хвилин, або індивідуальних домашніх завдань протягом семестру. Проводиться декілька раз (2 - 4) з максимальною сумарною оцінкою у 20 балів.

Залік складається аспірантом в аудиторний час і на нього виносяться питання та завдання, кожне з яких оцінюється за бальною системою.

Максимальна сумарна кількість балів протягом семестру складає:

$20+20+20+40=100$ (балів).

Рейтинг RD аспіранта складається з рейтингу, одержаного протягом семестру з урахуванням додаткових балів. Аспіранти, які набрали протягом семестру менше 30 балів, зобов'язані підвищити свій рейтинг, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість. Для підвищення рейтингу вони отримують можливість написати додаткову контрольну роботу та виконати індивідуальні домашні завдання.

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 « 3 » 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