

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ОБОЛОНКОВИХ СИСТЕМ»

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>Обчислювальних методів</i>
Викладач (-і)	<i>доктор технічних наук, старший дослідник, Борисенко Максим Юрійович</i>
Контактна інформація викладача (-ів)	<i>e-mail: mechanics530@gmail.com, тел. +38-093-74-18-430</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

Обґрунтування необхідності вивчення дисципліни. Підготовка доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика передбачає формування здатності до проведення самостійних наукових досліджень у галузі механіки деформівного твердого тіла, зокрема в області механіки пластин та оболонок, розроблення математичних моделей складних інженерних систем, використання сучасних чисельних методів та алгоритмів для аналізу механічної поведінки тонкостінних конструкцій.

Сучасні оболонкові системи широко застосовуються в авіаційній та ракетно-космічній техніці, енергетиці, машинобудуванні, будівництві, при створенні композитних конструкцій та інженерних систем складної геометрії. Їх дослідження потребує використання фундаментальних положень теорії оболонок, математичного моделювання, чисельного аналізу та сучасних обчислювальних технологій.

Навчальна дисципліна «Чисельний аналіз механічної поведінки оболонок систем» є складовою циклу професійної підготовки здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти «доктор філософії» та спрямована на формування дослідницьких компетентностей у галузі чисельного моделювання механічних процесів в оболонкових структурах.

Дисципліна забезпечує формування сучасного наукового світогляду в області механіки оболонок, розвиває здатність до постановки крайових та спектральних задач, вибору адекватних чисельних методів, створення розрахункових схем та отримання достовірних результатів чисельного аналізу.

Мета навчальної дисципліни. Формування у здобувачів третього освітньо-наукового рівня системних знань з класичної та уточненої теорії оболонок, сучасних чисельних методів аналізу механічної поведінки оболонкових систем, а також здатності розробляти математичні моделі, будувати розрахункові схеми та виконувати чисельні дослідження тонкостінних пружних конструкцій.

Предмет вивчення дисципліни. Теоретичні основи механіки оболонок, математичні моделі оболонкових систем, крайові та спектральні задачі теорії оболонок, чисельні методи розв'язування диференціальних рівнянь у частинних похідних, алгоритми чисельного аналізу механічної поведінки оболонкових конструкцій, методи дослідження напружено-деформованого стану, стійкості та коливань оболонок.

Результати навчання. Після вивчення дисципліни здобувач буде здатний:

Знання (знати)

- фундаментальні положення класичної та уточненої теорії оболонок;
- основні математичні моделі оболонкових систем;
- методи формулювання крайових та спектральних задач;
- сучасні чисельні методи розв'язування задач механіки оболонок;
- алгоритми чисельного аналізу напружено-деформованого стану;
- методи дослідження стійкості та коливань оболонок;
- принципи побудови розрахункових схем для ізотропних та анізотропних матеріалів;
- сучасні підходи до математичного моделювання механічних процесів.

Уміння (уміти)

- формулювати математичні моделі оболонкових систем;
- ставити крайові та спектральні задачі теорії оболонок;
- обирати адекватні чисельні методи розв'язування задач;
- виконувати чисельний аналіз механічної поведінки оболонок;
- досліджувати напружено-деформований стан;
- аналізувати динамічні процеси та коливання оболонок;
- застосовувати обчислювальну техніку для дослідження механічних систем;
- інтерпретувати результати чисельних розрахунків.

Навички та досвід (володіти)

- методами математичного моделювання оболонкових конструкцій;
- сучасними чисельними алгоритмами;
- навичками програмної реалізації обчислювальних схем;
- методами аналізу результатів чисельного моделювання;
- технологіями використання обчислювальних систем.

Автономність і відповідальність

- здатність самостійно виконувати чисельні дослідження;
- відповідальність за достовірність результатів;
- здатність приймати науково обґрунтовані рішення;
- готовність до проведення самостійних досліджень;
- здатність до безперервного наукового розвитку.

Вивчення дисципліни сприяє розвитку загальних та спеціальних компетентностей:

I. Загальні компетентності (ЗК):

1. **ЗК1.** Здатність до інтелектуальної наукової діяльності, абстрактного мислення,

- критичного аналізу і синтезу нових ідей.
2. **ЗК2.** Здатність до самостійної роботи, самонавчання та постійного розвитку.
 3. **ЗК3.** Здатність до використання новітніх інформаційних і комунікаційних технологій, пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
 4. **ЗК4.** Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
 5. **ЗК5.** Здатність ініціювати та вирішувати проблеми дослідницького характеру у науковому пізнанні, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.
 6. **ЗК6.** Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та інноваційних розробок українською та іноземними мовами, глибоке розуміння іншомовних наукових текстів за напрямом досліджень.
 7. **ЗК8.** Здатність вести міждисциплінарний діалог на засадах науковості та толерантності.
 8. **ЗК10.** Здатність до формування системного наукового світогляду, професійної етики та загального культурного кругозору.
 9. **ЗК11.** Здатність як до автономної, так і до командної роботи при реалізації проєктів.

II. Спеціальні (фахові) компетентності (СК):

1. **СК1.** Здатність формулювати наукові задачі в галузі механіки деформівного твердого тіла, зокрема в області механіки композитних і неоднорідних середовищ; механіки оболонкових систем; механіки зв'язаних полів у матеріалах і елементах конструкцій; механіки руйнування і втоми матеріалів і елементів конструкцій; в області динаміки та стійкості руху механічних систем; в області структурної механіки матеріалів.
2. **СК2.** Здатність до створення адекватних розрахункових моделей для розв'язання конкретних задач прикладної математики на основі положень наукових теорій та наявної інформації про об'єкт дослідження.
3. **СК3.** Здатність вивчати, розуміти і аналізувати існуючі методи дослідження та оцінювати їхні можливості для подальшого використання при розв'язанні конкретних наукових задач з прикладної математики.
4. **СК4.** Здатність самостійно виконувати дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у галузі механіки деформівного твердого тіла і теоретичної механіки та дотичних дисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових фахових виданнях.
5. **СК5.** Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання задач механіки деформівного твердого тіла та теоретичної механіки.
6. **СК6.** Здатність до розробки нових алгоритмів розрахунку, побудованих на базі сучасного математичного апарату.
7. **СК7.** Здатність оцінювати достовірність одержаних результатів, отримувати та аналізувати розв'язки завдань роботи, застосовувати результати теоретичних та розрахункових досліджень для формулювання рекомендацій при вирішенні прикладних практичних задач.
8. **СК9.** Здатність до розуміння тенденцій розвитку і нових розробок в області математичного та комп'ютерного моделювання механічних систем, а також суміжних областей.

III. Програмні результати навчання (РПН):

1. **РПН1.** Знати сучасні тенденції та наукову проблематику в сфері механіки деформівного твердого тіла і теоретичної механіки, напрямках їх розвитку та основних наукових школах.

2. **ПРН2.** Мати глибинні знання з обраного напрямку досліджень. Вміти генерувати нові ідеї, виконувати оригінальні дослідження та досягати наукових результатів, які створюють нові знання в обраному напрямі досліджень.
3. **ПРН3.** Володіти знаннями сучасних методів проведення досліджень в області математичного та комп'ютерного моделювання механічних систем та явищ.
4. **ПРН5.** Уміти орієнтуватись в сучасних інструментах наукових досліджень та на їх основі знаходити оптимальні шляхи розв'язку поставлених задач.
5. **ПРН6.** Уміти оформляти документацію встановленої звітності, а також розробляти та аргументовано презентувати результати власної дослідницької діяльності у різних форматах: доповіді, статті, звіту, усно, письмово, наживо тощо.
6. **ПРН7.** Уміти проводити пошук наукової інформації та користуватися сучасними засобами зберігання, передачі і пошуку інформації, узагальнювати її та критично переосмислювати.
7. **ПРН8.** Уміти аналізувати одержані результати і оцінювати їх достовірність та застосовувати результати теоретичних та розрахункових досліджень для формулювання рекомендацій при вирішенні практичних задач.
8. **ПРН10.** Уміти використовувати сучасні методи і технології наукової комунікації українською та іноземними мовами.
9. **ПРН11.** Професійно презентувати результати своїх досліджень під час наукових заходів англійською мовою.
10. **ПРН12.** Ефективно працювати в команді, мати навички міжособистісної взаємодії.
11. **ПРН14.** Мати усвідомлення необхідності навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань.
12. **ПРН15.** Відповідально ставитись до виконуваної роботи та досягати поставленої мети з дотриманням вимог професійної етики.
13. **ПРН16.** Демонструвати системний науковий світогляд, знання з професійної етики та загальний культурний кругозір, зокрема принципи академічної доброчесності і високої академічної культури.

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

Пререквізити. Для успішного засвоєння дисципліни здобувач повинен мати результати навчання, отримані під час вивчення дисциплін математичного та механічного циклу на попередніх рівнях освіти.

Дисципліни-пререквізити:

- Теоретична механіка
- Механіка суцільних середовищ
- Теорія пластин та оболонок
- Математичний аналіз
- Диференціальні рівняння
- Рівняння математичної фізики
- Чисельні методи
- Методи математичного моделювання
- Програмування та обчислювальні методи
- ДВІ-1
- ДВІ-2

Здобувач повинен:

Знати:

- основи теорії оболонок;

- тензорний аналіз;
- диференціальні рівняння;
- рівняння математичної фізики;
- чисельні методи;
- принципи математичного моделювання;
- алгоритмічні мови програмування.

Уміти:

- формулювати крайові задачі;
- будувати математичні моделі;
- розв'язувати статичні та динамічні задачі;
- застосовувати чисельні методи;
- використовувати обчислювальну техніку.

Володіти:

- навичками програмування;
- математичними пакетами;
- обчислювальними системами;
- сучасними інформаційними технологіями.

Постреквізити. Результати навчання використовуються при:

- виконанні наукових досліджень
- підготовці дисертації
- написанні наукових статей
- розробленні математичних моделей
- проведенні чисельних експериментів
- участі у наукових проектах
- викладанні спеціальних дисциплін
- підготовці дисертаційної роботи
- атестації доктора філософії

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1. Основи теорії оболонок та їх моделі

Тема 1. Класична та уточнена теорії оболонок. Просторова модель.

Тема 2. Постановка крайових та спектральних задач теорії оболонок.

Тема 3. Побудова розв'язувальних систем диференціальних рівнянь в частинних похідних в задачах теорії оболонок. Метод відокремлення змінних.

Змістовний модуль 2. Застосування аналітичних та чисельних методів в задачах теорії оболонок

Тема 4. Метод дискретної ортогоналізації. Особливості та приклади застосування.

Тема 5. Метод сплайн-колокацій. Особливості та приклади застосування.

Тема 6. Варіаційні методи, методи скінченних різниць та скінченних елементів в задачах теорії оболонок.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література (рекомендована для обов'язкового опрацювання)

1. Grigorenko Ya.M. Grigorenko A.Ya. Vlaikov. G.G. Problems of Mechanics for Anisotropic Inhomogeneous Shells on the Basis of Different Models, Kyiv, 2009, Academperiodika, 550 p.

2. Grigorenko A.Ya., Muller W.H., Grigorenko Ya.M, Vlaikov G.G. Recent Developments in Anisotropic Heterogeneous Shell Theory. General Theory and Applications of Classical Theory – Volume I, Springer, 2016) 116p.
3. Grigorenko A.Ya., Muller W.H., Grigorenko Ya.M, Vlaikov G.G. Recent Developments in Anisotropic Heterogeneous Shell Theory, Applications of Refined and Three-dimensional Theory – Volume II A, Springer, 2016, 42p
4. Grigorenko A.Ya., Muller W.H., Grigorenko Ya. M, Vlaikov G.G. Recent Developments in Anisotropic Heterogeneous Shell Theory, Theory. Applications of Refined and Three-dimensional Theory – Volume II B, Springer, 2016, 108p.
5. Григоренко Я.М., Мукоєд А.П. Розв'язання лінійних і нелінійних задач теорії оболонок на ЕОМ. – К.: Либідь, 1990. – 152 с.
6. Григоренко Я.М., Будак В.Д., Григоренко О.Я. Розв'язання задач теорії оболонок на основі дискретно-континуальних методів, Миколаїв, Іліон, 294 с.

Додаткова література (для поглибленого вивчення окремих питань)

1. Alberg JH, Nielson E, Walsh J. Theory of splines and their applications. Academic Press, New York, 1967, 254 p.
2. Budak V.D., Grigorenko A. Ya. Free Vibrations of Anisotropic Heterogeneous Shell Structures Mukolayv, Іліон, 2017, 246 p .
3. Reddy JN (2005) An introduction to the finite element method. McGraw-Hill Education, New York, 2005, 385 p.
4. Reddy JN (2007) Theory and analysis of elastic plates and shells. CRC Press, Taylor and Francis, Boca Raton, 2007, 278 p.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№	Назва теми	К-ть годин		
		Лекції	Семинари	Самостійна робота
<i>Змістовний модуль 1. Основи теорії оболонок та їх моделі</i>				
1.	Класична та уточнена теорії оболонок. Просторова модель	4	4	16
2.	Постановка крайових та спектральних задач теорії оболонок	2	2	8
3.	Побудова розв'язувальних систем диференціальних рівнянь в частинних похідних в задачах теорії оболонок. Метод відокремлення змінних	4	4	16
<i>Змістовний модуль 2. Застосування аналітичних та чисельних методів в задачах теорії оболонок</i>				
4.	Метод дискретної ортогоналізації. Особливості та приклади застосування	4	4	16
5.	Метод сплайн-колокацій. Особливості та приклади застосування	4	4	16
6.	Варіаційні методи, методи скінченних різниць та скінченних елементів в задачах теорії оболонок	2	2	8
	Разом годин	20	20	80

Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань	Кількість годин СРА
1	Приклади застосування оболонкових конструкцій в різних галузях промисловості та будівництві. Теорія Кірхгофа-Лява (класична теорія). Теорія типу Тимошенка (уточнена теорія). Перехід від тривимірної моделі до двовимірної	2
2	Основні співвідношення теорій оболонок для випадку ізотропного та анізотропного матеріалу. Рівняння рівноваги та руху, закон Гука, співвідношення Коші. Випадок неоднорідної структури	2
3	Крайова задача, яка описує напружений стан прямокутної пластини та пологої оболонки. Побудова розв'язувальної системи диференціальних рівнянь в частинних похідних. Задання граничних умов. Випадок ізотропного та анізотропного матеріалу.	2
4	Спектральна задача, яка описує вільні коливання прямокутної пластини та пологої оболонки. Побудова системи диференціальних рівнянь в частинних похідних. Задання граничних умов. Випадок ізотропного та анізотропного матеріалу	2
5	Осесиметричні крайові та спектральні задачі теорії оболонок для ізотропних та анізотропних тіл. Поняття про композитні та функціональноградієнтні матеріали. Метод відокремлення змінних.	2
6	Основні положення методу дискретної ортогоналізації. Побудова коректної стистеми початкових умов. Ортогоналізація векторів, метод ГрамаШмідта. Особливості методу для крайових та спектральних задач	2
7	Побудова чисельного алгоритму методу дискретної ортогоналізації. Особливості застосування методу дискретної ортогоналізації для розв'язування задач теорії оболонок. Випадок нестійкості обчислень	2
8	Визначення сплайнів. Базисні сплайни із скінченними носіями. Поняття про B-сплайни. B-сплайни третього та п'ятого ступеня	2
9	Основи методу сплайн-колокації. Зведення системи в частинних похідних до одновимірної методом сплайн-коллокації. Задоволення граничних умов в методі сплайн-колокації. Розв'язок крайової задачі про напружений стан неоднорідної пологої оболонки методом сплайн-колокації. Критерії достовірності отриманих результатів при застосуванні методу сплайнколокації	2
10	Варіаційні методи. Метод Рітца. Метод Бубнова-Гальоркіна. Основні положення методу скінченних елементів. Особливості їх застосування при дослідженні механічної поведінки оболонок. Приклади	2

Практичні заняття

№	Назва теми занять та перелік основних питань	Кількість годин СРА
1	Математична модель, на якій базується перехід від просторової теорії пружності до дифереенціальних рівнянь теорії оболонок	2
2	Співвідношення класичної та некласичної теорій оболонок в циліндричній та сферичній системі координат. Закон Гука для анізотропних тіл	2
3	Розв'язувальні системи диференціальних рівнянь в частинних похідних для прямокутних пластин різної геометрії	2
4	Задача Штурма-Ліувіля, особливості її розв'язання	2

5	Напружено-деформований стан та вільні коливання циліндричних оболонок. Властивості симетрії	2
6	Побудова граничних умов на при застосуванні методу дискретної ортогоналізації	2
7	Побудова граничних умов при застосування методу дискретної ортогоналізації для дослідження напруженого-деформованого стану і вільних коливань циліндричних оболонок	2
8	Застосування В-сплайнів до розрахунку оболонок	2
9	Застосування методу сплайн-апроксимації до розв'язання систем звичайних диференціальних рівнянь	2
10	Особливості розбиття області оболонки скінченними елементами. Критерії достовірності результатів обчислень	2

Самостійна робота аспіранта

№	Назви тем і питань, що виноситься на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРА
1	Застосування конструктивних оболонкових елементів в сучасній техніці. Криволінійні ортогональні системи координат. Основні принципи побудови теорій оболонок. Особливості класичної та некласичної теорії оболонок.	10
2	Матриця жорсткості і матриця податливості	6
3	Задання граничних умов прямокутної пластини для ізотропних та анізотропних матеріалів	8
4	Вільні коливання прямокутних пластин неоднорідної структури	8
5	Застосування методу відокремлення змінних в випадку осесиметричних коливань циліндричних оболонок	8
6	Приклади ортогоналізації векторів	8
7	Особливості застосування методу дискретної ортогоналізації в випадку неодорідного матеріалу оболонок	8
8	Основні властивості сплайн-функцій; їх відмінність від звичайних поліномів	8
9	Розв'язання задачі про вільні коливання жорстко закріплених прямокутних пластин на основі застосування сплайн-колокації	8
10	Методи розв'язання алгебраїчних систем високого порядку при застосуванні варіаційних методів	8

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Політика дотримання академічної доброчесності

Аспіранти зобов'язані дотримуватися принципів академічної доброчесності під час виконання всіх видів навчальних і наукових робіт відповідно до Положення про академічну доброчесність та Положення про організацію освітнього процесу в Інституті механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України.

Самостійне виконання навчальних завдань, коректне використання джерел інформації, належне оформлення посилань на використані матеріали, недопущення плагіату, фабрикації, фальсифікації результатів досліджень є обов'язковими вимогами.

Неприпустимим є:

- списування під час виконання контрольних робіт;
- використання сторонньої допомоги без дозволу викладача;
- використання мобільних пристроїв під час контролю знань;
- подання чужих робіт як власних.

У разі виявлення порушень академічної доброчесності робота не зараховується, а аспірант отримує нуль балів із можливістю повторного виконання завдання відповідно до встановленої процедури.

Політика щодо відвідування занять

Відвідування лекційних та семінарських занять є обов'язковим компонентом освітнього процесу.

Аспіранти повинні:

- систематично відвідувати заняття;
- виконувати всі види навчальних завдань;
- брати участь у семінарських обговореннях.

За об'єктивних причин (міжнародне стажування, наукове відрядження, хвороба, епідеміологічні обмеження тощо) навчання може здійснюватися в онлайн-формі або за індивідуальним графіком відповідно до Положення про організацію освітнього процесу.

Пропущені заняття підлягають обов'язковому відпрацюванню.

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

Рейтинг аспіранта з дисципліни формується за результатами поточного та підсумкового контролю.

Поточний контроль

1. Експрес-контроль – 20 балів ($4 \times 5 = 20$)
2. Активна робота на семінарських заняттях – 20 балів
3. Модульні контрольні роботи – 20 балів ($2 \times 10 = 20$)

Підсумковий контроль

4. Іспит – 40 балів

Експрес-контроль

Проводиться з метою перевірки:

- засвоєння лекційного матеріалу
- самостійної роботи
- підготовки до семінарів

Форми:

- усне опитування
- письмові роботи
- тестування
- індивідуальні завдання

Кількість: 4 протягом семестру

Максимум: 20 балів

Іспит

Іспит проводиться у письмовій або комбінованій формі наприкінці семестру.

Оцінюється:

- теоретична підготовка
- розуміння педагогічних концепцій
- здатність застосовувати методику викладання
- аналіз освітніх ситуацій

Максимум: 40 балів

Розрахункова шкала рейтингу

Максимальна кількість балів: 20 + 20 + 20 + 40 = **100 балів**

Допуск до іспиту

До складання іспиту допускаються аспіранти, які набрали не менше **35 балів** за результатами поточного контролю.

Аспіранти, які набрали менше 35 балів:

- не допускаються до іспиту
- мають академічну заборгованість
- можуть підвищити рейтинг шляхом виконання додаткових завдань

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