

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«ДИНАМІКА СТРУКТУРНО НЕОДНОРІДНИХ ОБОЛОНОК»

| | |
|--|--|
| Галузь знань | 11 Математика і статистика |
| Спеціальність | 113 Прикладна математика |
| Освітня програма | Механіка деформівного твердого тіла і теоретична механіка |
| Освітній рівень | доктор філософії |
| Статус дисципліни | вибіркова |
| Мова викладання | Українська |
| Курс / семестр | 2 курс, 1 (2) семестр |
| Кількість кредитів ЄКТС | 4 кредити ЄКТС |
| Розподіл за видами занять та годинами навчання | Лекції – 20 год. |
| | Практичні (семінарські) – 20 год. |
| | Самостійна робота – 80 год. |
| Форма підсумкового контролю | диф.залік |
| Відділ | Будівельної механіки тонкостінних конструкцій |
| Викладач (-і) | к.т.н., Колядюк Андрій Сергійович |
| Контактна інформація викладача (-ів) | e-mail: duk86@outlook.com , тел. +38-099-077-71-54 |
| Дні занять | За розкладом |
| Консультації | За домовленістю викладача з аспірантом оф-лайн або он-лайн |
| Програма навчальної дисципліни | |

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

Навчальна дисципліна «Динаміка структурно неоднорідних оболонок» є складовою циклу професійної підготовки фахівців третього освітньо-наукового рівня “доктор філософії”

Метою навчальної дисципліни «Динаміка структурно неоднорідних оболонок» є набуття знань та вмінь розв’язання комплексних проблем в галузі механіки деформівного твердого тіла шляхом здобуття компетентностей, необхідних для виконання *самостійних* та оригінальних *наукових досліджень*, результати яких мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Головними завданнями вивчення навчальної дисципліни «Динаміка структурно неоднорідних оболонок» є формування знань, практичних навичок та компетентностей, потрібних для проведення самостійних кваліфікованих наукових досліджень:

- Загальні компетентності: ЗК1 – ЗК3, ЗК5 (відповідно до переліку загальних компетентностей ОНП).
- Спеціальні (фахові) компетентності: СК1 – СК4, СК6, СК7 (відповідно до переліку спеціальних компетентностей ОНП).
- Загальні програмні результати навчання: ПРН1, ПРН2, ПРН7, ПРН8 (відповідно до переліку програмних результатів навчання ОНП).

Програмні результати навчання за дисципліною (вимоги до знань та вмінь):

- В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен *знати:*
 - основні концепції, наукові школи та праці провідних вітчизняних і зарубіжних науковців у сфері динаміки структурно неоднорідних оболонок в лінійній і геометрично нелінійній постановках;
 - закони та рівняння, які описують динамічну поведінку структурно неоднорідних оболонок при дії гармонійних і нестационарних навантажень;
 - варіаційні постановки динамічних задач структурно неоднорідних оболонок;
 - аналітичні і чисельні методи, прикладні програмні комплекси, які застосовуються для дослідження динамічної поведінки структурно неоднорідних оболонок;
- вміти:*
 - правильно вибирати моделі для визначення динамічної поведінки ребристих і шаруватих оболонок;
 - розв'язувати задачі динаміки оболонок з конструктивними особливостями
 - методом розкладу рішення по формах власних коливань;
 - на основі варіаційних постановок розв'язувати задачі тришарових оболонок з дискретно-неоднорідним заповнювачем при динамічних навантаженнях методом скінченних різниць;
 - розв'язувати задачі динаміки тришарових оболонок з дискретно-симетричним легким, армованим ребрами заповнювачем методом скінченних елементів.

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

Програма курсу орієнтована на аспірантів, які вже знайомі з дисциплінами професійної та практичної підготовки фахівців-механіків, зокрема з курсом механіки суцільних середовищ, загальним курсом теорії диференціальних рівнянь, математичної фізики та обов'язкових курсів освітньо-наукової програми ДВІ 1 та ДВІ 2, які вивчаються на першому курсі аспірантури. Вони повинні володіти методами обчислювальної математики та методами математичного моделювання систем та процесів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1. Основні рівняння і постановка динамічних задач геометрично нелінійної теорії оболонок

Тема 1. Основні динамічні співвідношення геометрично нелінійної теорії пружності Деформативні залежності. Рівняння коливань в напруженнях. Криволінійна анізотропія. Узагальнений закон Гука.

Тема 2. Основні рівняння динамічної теорії гладких оболонок в геометрично нелінійній теорії. Уточнена модель динаміки оболонок типу С. П. Тимошенка. Класична модель теорії динаміки тонких оболонок. Модель коливань оболонок з врахуванням поперечних нормальних і зсувних деформацій.

Тема 3. Динаміка структурно неоднорідних оболонок при взаємодії з пружним середовищем. Чисельні розв'язки задач про динамічну взаємодію структурно неоднорідних оболонок з пружним середовищем. Чисельні алгоритми розв'язку динамічних задач теорії підкріплених циліндричних оболонок на пружній основі.

Змістовний модуль 2. Дослідження динамічної поведінки структурно неоднорідних оболонок обертання з використанням аналітичних та чисельних методів

Тема 4. Визначення параметрів деформівного стану оболонки при дії локальних короткочасних навантажень. Рішення задачі отримується за допомогою інтеграла Дюамеля. Досліджено вплив форми імпульсу на деформівний стан оболонки. Розроблена методика дозволяє оцінити працездатність циліндричних оболонок, які експлуатуються в динамічних режимах.

Тема 5. Вибір гіпотез для досліджень динаміки тришарових дискретно неоднорідних оболонок обертання. Два основних підходи застосування гіпотез до всього пакету і гіпотез, які враховують кінематичні і статичні гіпотези до кожного шару. Згідно другого підходу ці неоднорідні оболонкові структури можна розглядати як оболонки з дискретним розміщенням ребер. Наявність розривних коефіцієнтів у рівняннях коливань структурно неоднорідних оболонок. Чисельні алгоритми розв'язання задач теорії структурно неоднорідних оболонок з урахуванням дискретності розташування ребер.

Тема 6. Розробка розрахункової моделі тришарових оболонок обертання з дискретно-симетричним легким, армованим ребрами заповнювачем. Вивід рівнянь коливань несиметричних тришарових оболонок обертання з легким заповнювачем, армованим дискретними ребрами жорсткості. Створення скінченно-елементної моделі, адекватної динамічному процесу досліджуваної конструкції. Два аспекти переваги динамічного аналізу. Основні можливості методу скінченних елементів. Динаміка тришарових дискретно неоднорідних оболонок обертання при нестационарних навантаженнях.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні рекомендовані джерела

1. Луговий П.З., Мейш В.Ф., Мейш Ю.А. Динаміка конструктивно-неоднорідних структур: монографія / під ред. акад. НАН України О.М. Гузя. Київ: Видавництво Ліра К. 2022. 326 с.
2. Grigorenko, A.Y.; Müller, W.H.; Grigorenko, Y.M.; Vlaikov, G.G. Recent Developments in Anisotropic Heterogeneous Shell Theory. Applications of Refined and Three-dimensional Theory—Volume II; Springer: Singapore, 2016; p. 108.
3. Головка К.Г. Луговой П.З., Мейш В.Ф. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках. – К: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2012. – 541 с.
4. G.A. Drosopoulos, G.E. Stavroulakis, Nonlinear Mechanics for Composite Heterogeneous Structures, CRC Press, Boca Raton, 2022.
5. Altenbach, H.; Altenbach, J.; Kissing, W. Mechanics of Composite Structural Elements, 2nd ed.; Springer Nature Singapore Pte Ltd.: Singapore, 2018; p. 503.
6. Mantic Vladislav. (ed.) Mathematical Methods and Models in Composites. World Scientific Publishing Europe Ltd., 2023; 731 p.
7. Hwu C. Mechanics of Laminated Composite Structures. CRC Press, Boca Raton, 2024; 415 p.

Додаткові рекомендовані джерела

8. Современные проблемы механики: В 3-х томах / Под редакцией А.Н. Гузя. – К.: Літера ЛТД, 2015. – 550 с.

9. Mittelstedt, C. Theory of Plates and Shells. Springer Vieweg: Berlin/Heidelberg, Germany, 2023; ISBN 978-3-662-66805-4.
10. Radwanska Maria et al. Plate and Shell Structures: Selected Analytical and Finite Element Solutions. Wiley, 2017; 421 p.
11. Amabili M. Nonlinear Mechanics of Shells and Plates in Composite, Soft and Biological Materials. Cambridge University Press, 2018; 586 p.
12. Рычков С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran.– М.: ДМК Пресс, 2013.– 784 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

| № | <i>Назва теми лекції та перелік основних питань</i> |
|-----------|--|
| 1 | Основні кінематичні та динамічні співвідношення. Динамічні рівняння рівноваги в напруженнях. Динамічні рівняння рівноваги в переміщеннях. Загальна теорія коливань геометрично лінійних динамічних рівнянь шаруватих оболонок. Жорстке з'єднання дискретних ребер з несучими шарами. |
| 2 | Динамічні задач теорії дискретно підкріплених оболонок при нестационарних навантаженнях. Чисельні алгоритми розв'язку динамічних задач підкріплених оболонок обертання. Дослідження стійкості скінченно-різницевого рівнянь ребристих оболонок при невісесиметричних коливаннях. |
| 3 | Розв'язання динамічних задач скінченних по довжині циліндричних оболонок некругового перерізу. Динамічна поведінка дискретно підкріплених еліпсоїдальних оболонок при дії на них імпульсного розподіленого внутрішнього навантаження. |
| 4 | Неосесиметричні коливання дискретно підкріплених еліпсоїдальних оболонок при дії на них імпульсного внутрішнього навантаження. Рівняння неосесиметричних коливань дискретно підкріпленої еліпсоїдальної оболонки. |
| 5 | Постановка задач про коливання ребристих оболонок обертання з врахуванням впливу зовнішнього середовища. Моделювання водонасичених ґрунтів нелінійним багатокомпонентним середовищем. Взаємодія циліндричних і сферичних оболонок з ґрунтовим середовищем при нестационарних навантаженнях на конструкції. |
| 6 | Нестационарна динаміка системи «ребриста циліндрична оболонка – ґрунтове середовище періодичної структури» |
| 7 | Чисельний розв'язок задач про динамічну взаємодію конструктивно-ортотропних циліндричних оболонок з пружним середовищем. Чисельний алгоритм розв'язку динамічних задач теорії підкріплених циліндричних оболонок на пружній основі. |
| 8 | Нестационарне деформування поздовжньо-поперечно підкріплених циліндричних оболонок на пружній основі. |
| 9 | Чисельний розв'язок осесиметричних задач динамічної поведінки тришарових циліндричних оболонок з дискретним ребристим заповнювачем при внутрішньому імпульсному навантаженні з застосуванням скінченно – різницевого методу. |
| 10 | Чисельне моделювання динамічної поведінки тришарових сферичних оболонок з дискретним ребристим заповнювачем при дії ударної хвилі. |
| 11 | Динаміка тришарових конічних оболонок з дискретно-симетричним легким, армованим ребрами заповнювачем при нестационарних навантаженнях. |
| 12 | Динаміка тришарових сферичних оболонок з дискретно-симетричним легким, |

| | |
|-----------|--|
| | армованим ребрами заповнювачем при нестационарних навантаженнях. |
| 13 | Динаміка несиметричних тришарових сферичних оболонок з дискретно-симетричним легким, армованим ребрами, заповнювачем при нестационарних навантаженнях. |

Практичні заняття

| № | <i>Назва теми занять та перелік основних питань</i> |
|-----------|---|
| 1 | Розв'язок динамічної задачі про визначення напружено-деформованого стану замкнутої багатошарової ребристої циліндричної оболонки з локально приєднаними масами методом розкладу рішення по формах власних коливань. |
| 2 | Побудова чисельного алгоритму заснована на застосуванні інтегро-інтерполяційного методу побудови різницевих схем для динамічних рівнянь з розривними коефіцієнтами. |
| 3 | Побудова математичної моделі динамічної поведінки ребристої циліндричної оболонки еліптичного перерізу в рамках геометрично лінійного варіанту теорії оболонок типу Тимошенка. |
| 4 | Побудова чисельного алгоритму заснована на застосуванні інтегро-інтерполяційного методу побудови різницевих схем для динамічних рівнянь з розривними коефіцієнтами. |
| 5 | Рівняння коливань конструктивно ортотропних циліндричних оболонок в ґрунтовому середовищі при імпульсному навантаженні на оболонку. |
| 6 | Чисельний розв'язок зв'язаної задачі ребриста циліндрична оболонка - ґрунтове середовище періодичної структури при внутрішньому імпульсу тиску на оболонку. |
| 7 | Чисельний алгоритм розв'язку динамічних задач теорії підкріплених циліндричних оболонок на пружній основі. |
| 8 | Чисельний алгоритм розв'язку динамічних задач геометрично нелінійної теорії підкріплених циліндричних оболонок на пружній основі. |
| 9 | Дослідження напружено деформованого стану тришарових циліндричних оболонок з дискретним ребристим заповнювачем при внутрішньому імпульсному навантаженні. |
| 10 | Побудова скінченно-різницевого алгоритму для чисельного моделювання динаміки тришарових сферичних оболонок з дискретним ребристим заповнювачем при дії ударної хвилі. |
| 11 | Дослідження напружено-деформованого стану конічних оболонок з дискретно-симетричним легким, армованим ребрами заповнювачем при внутрішньому імпульсному навантаженні методом скінченних елементів. |
| 12 | Дослідження напружено-деформованого стану сферичних оболонок з дискретно-симетричним легким, армованим ребрами заповнювачем при зосередженому ударі по вершині сфери методом скінченних елементів. |
| 13 | Визначення власних частот тришарових сферичних оболонок з дискретно-симетричним легким, армованим ребрами заповнювачем в осесиметричній постановці в середовищі Femap with NX Nastran. |

6. Самостійна робота аспіранта

| № | <i>Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу</i> | <i>Кількість годин СР</i> |
|----------|---|---------------------------|
| 1 | Загальна характеристика основних наукових шкіл, що вивчають динаміку структурно неоднорідних оболонок. | 2 |

| | | |
|----|---|---|
| 2 | Геометрично нелінійна теорія динаміки структурно неоднорідних оболонок. | 3 |
| 3 | Вплив геометричної нелінійності в динамічних задачах теорії підкріплених оболонок з врахуванням дискретного розташування ребер. | 3 |
| 3 | Вплив ексцентриситету поперечного перетину підкріпленої циліндричної оболонки на її напружено-деформований стан при динамічних навантаженнях. | 3 |
| 4 | Вплив характеру поздовжньо-поперечного набору ребер на динаміку максимальних нормальних прогинів еліпсоїдальної оболонки | 3 |
| 5 | Виведення рівнянь коливань ортотропної сферичної оболонки в ґрунтовому середовищі при імпульсному навантаженні на оболонку. | 4 |
| 6 | Прогнозування характеру хвильових процесів в неоднорідному ґрунтовому середовищі при проходженні хвиль через контактну границю шарів ґрунту в залежності від їх параметрів. | 3 |
| 7 | Чисельний розв'язок задач про динамічну взаємодію конструктивно-ортотропних циліндричних оболонок з пружним середовищем Пастернака. | 3 |
| 8 | Аналіз впливу геометричної нелінійності на динаміку циліндричних оболонок на пружній основі. | 2 |
| 9 | Використання явних та неявних різницевих схем інтегрування диференціальних рівнянь. | 3 |
| 10 | Провести дослідження стійкості скінченно-різницевих рівнянь для тришарових сферичних оболонок з дискретним ребристим заповнювачем | 3 |
| 11 | Аналіз впливу кута конусності тришарової конічної оболонки від параметрів структури за товщиною. | 2 |
| 12 | Дослідити характер затухання нормальних прогинів вздовж твірної сферичної оболонки. | 3 |
| 13 | Дослідження впливу несиметрії оболонкової структури за товщиною на розподіл нормальних напружень вздовж твірної сфери при динамічних навантаженнях. | 3 |

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Очікується, що аспіранти знайомі з основними принципами академічної доброчесності, самостійно виконують усі навчальні завдання, коректно посилаються на використані джерела інформації при написанні власного наукового або навчального дослідження, тощо. Неприпустимим є списування при написанні контрольних робіт та складанні заліку (у тому числі з використанням мобільних пристроїв). У разі виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі аспіранта вона не зараховується викладачем.

Відвідування занять є обов'язковим компонентом навчального процесу. За об'єктивних причин (наприклад, міжнародне стажування, епідеміологічні обмеження тощо) навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням із керівником курсу та керівником аспірантури.

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)
4. 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 |

«Відмінно» - A (90-100 балів) – відмінний рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з можливими незначними недоліками.

«Добре» - B (82-89 балів) – дуже добре – достатньо високий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу без суттєвих (грубих) помилок.

«Добре» - C (74-81 балів) – в цілому добрий рівень знань (умінь) з незначною кількістю помилок.

«Задовільно» - D (64-73 балів) – виставляється аспіранту, який має знання тільки основного матеріалу, але не засвоїв його деталей, допускає неточності, неправильне

тлумачення окремих елементів завдання та відчуває труднощі при виконанні практичних завдань.

«Задовільно» - Е (60-63 балів) – достатньо – мінімально можливий допустимий рівень знань (умінь).

«Незадовільно» - FХ (35-59 балів) - виставляється аспіранту, який дає необґрунтовані відповіді на запитання, допускає суттєві помилки у використанні понятійного апарату. Не простежується логічність та послідовність думки. Формулювання хаотичні та не усвідомлені.

«Незадовільно» - F (1-34 балів) - виставляється аспіранту, який не засвоїв зміст дисципліни, вміння та навички не набуті.

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 « 9 » липня 2024 р., протокол № 6

Силабус затверджено на засіданні Вченої ради Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України « 16 » липня 2024 р., протокол № 8