

Національна академія наук України

Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Заступник директора  
з наукової роботи



Робоча програма навчальної дисципліни

# Моделі та методи механіки композитних конструкцій

(назва навчальної дисципліни)

Підготовки докторів філософії

зі спеціальності 113 Прикладна математика

2024 / 2025 навчальний рік

Робочу програму навчальної дисципліни «Моделі та методи механіки композитних конструкцій» складено відповідно до освітньо-наукової програми «Математичне моделювання та оптимізація теплових, механічних процесів і складних геометричних структур» підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Розробники: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)  
Сметанкіна Наталя Володимирівна, д-р техн. наук, професор, завідувач відділу вібраційних і термоміцнісних досліджень

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою інституту 16 травня 2024 року, протокол № 5.

Програму схвалено на розширеному засіданні відділу нелінійної механіки та математичного моделювання.

Протокол № 2 від 11.04.2024 р.

Завідувач відділу

  
\_\_\_\_\_  
(підпис) Аврамов К. В.  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-технічною проблемною радою «Математичне моделювання. Механіка деформованого твердого тіла. Динаміка і міцність машин»

Протокол № 1 від 15.04.2024 р.

Заступник голови НТПР \_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_  
(підпис) Максименко-Шейко К. В.  
(прізвище та ініціали)

## 1. Опис навчальної дисципліни

### *Мета викладання навчальної дисципліни*

Метою викладання навчальної дисципліни «Моделі та методи механіки композитних конструкцій» є вивчення нових математичних підходів та методів у моделюванні й дослідженні поведінки композиційних матеріалів з метою їх практичного застосування в науково-дослідній і виробничо-професійній діяльності фахівця.

### *Перелік компетентностей та програмних результатів навчання, що забезпечує дисципліна*

#### *Компетентності*

ЗК8 Здатність виявляти, ставити і вирішувати проблеми.

ЗК10 Знання і розуміння предметної області та розуміння професії.

ЗК11 Здатність до абстрактного та аналітичного мислення й генерування ідей.

ФК1 Здатність виявляти актуальні прикладні математичні проблеми і застосовувати поглиблені знання з прикладної математики.

ФК2 Здатність розробляти математичні моделі, що адекватно описують геометрію досліджуваних об'єктів і систем та фізичні процеси в них.

ФК3 Здатність застосовувати сучасні методи математичного моделювання і оптимізації для розв'язання задач прикладної математики.

ФК4 Здатність розробляти і вдосконалювати методи моделювання теплових та механічних процесів і оптимального проектування.

ФК5 Здатність на основі сучасних методів моделювання і оптимізації розробляти алгоритми розрахунку.

ФК6 Здатність використовувати сучасні програмні засоби для розв'язання задач прикладної математики.

ФК7 Здатність проводити обчислювальні експерименти з обробкою розрахункових даних і їх аналізом.

ФК8 Здатність аналізувати та інтерпретувати результати розв'язання задач прикладної математики.

#### *Програмні результати навчання*

ПРН1 Знати та критично оцінювати теорії, положення та концептуальні підходи до вирішення комплексних наукових і практичних завдань в галузі прикладної математики.

ПРН3 Знати і розуміти принципи побудови математичних моделей фізичних процесів.

ПРН4 Знати сучасні методи моделювання і оптимального проектування і уміти вдосконалювати їх.

ПРН5 Вміти розробляти і вдосконалювати алгоритми моделювання фізичних процесів і оптимального проектування, реалізовувати їх за допомогою відповідного програмного забезпечення.

ПРН6 Вміти використовувати сучасне програмне забезпечення для розв'язання задач прикладної математики з розподіленими параметрами.

ПРН7 Вміти проводити розрахункові дослідження та аналізувати отримані чисельні результати.

### *Характеристика навчальної дисципліни*

Вибіркова освітня компонента	
Кількість кредитів	3
Рік підготовки	2-й
Семестр	3-й
Загальна кількість годин	90
Лекції	30 год.
Практичні, семінарські заняття	__ год.
Індивідуальні заняття	__ год.
Самостійна робота	60 год.
Вид підсумкового контролю	залік

#### **2. Зв'язок з іншими освітніми компонентами**

Освітні компоненти, що передують вивченню:

OK5 Сучасні методи обчислювальної математики

OK7 Моделі та методи нелінійної динаміки

Освітні компоненти, які розвивають результати навчання за цією дисципліною:  
немає

#### **3. Заплановані результати навчання**

Після вивчення курсу аспіранти повинні:

*Знати:* основні властивості, положення і методи механіки композитних матеріалів; методологію розрахунків конструкцій з композитних матеріалів; визначальні співвідношення процесу деформування різних композиційних матеріалів і критерії їх руйнування; сучасні програмні засоби для реалізації методів розрахунку багатошарових армованих конструкцій на міцність;

*Вміти:* розробляти математичні моделі конструкцій з композитних матеріалів; формулювати постановки задач розрахунку на міцність; застосовувати сучасне програмне забезпечення для розрахунку елементів конструкцій з композитних матеріалів з використанням сучасних математичних моделей і методів та аналізувати отримані результати, використовувати отримані знання для розв'язання прикладних задач за спеціальністю.

*Розуміти:* будову композиційних та функціональних матеріалів та обирати оптимальні методи модифікації їх властивостей.

#### **4. Тематичний план навчальної дисципліни**

##### **Розділ 1. Основні положення механіки композитних конструкцій.**

##### ***Тема 1. Визначення композиційного матеріалу з позиції механіки суцільних середовищ.***

Конструкційні властивості композиційних матеріалів. Класифікація композиційних матеріалів. Властивості композитів. Наноструктури та наноматеріали. Галузі застосування композитів.

##### ***Тема 2. Волокнисті композиційні матеріали.***

Компоненти волокнистих композитів. Армуючі волокна. Матричні матеріали. Схеми армування композитів. Узагальнений закон Гука для анізотропного тіла. Ефективні модулі пружності односпрямованого матеріалу.

##### ***Тема 3. Пружні характеристики шаруватих композитів.***

Перетворення пружних характеристик односпрямованого матеріалу при повороті системи координат. Пружні характеристики шаруватих композитів при плоскому напруженому стані. Згин шаруватих композитів.

**Розділ 2. Розрахунок на міцність та проектування конструкцій з композиційних матеріалів.**

**Тема 4. Критерії міцності та аналіз руйнування конструкцій з композиційних матеріалів.**

Структурний та феноменологічний підходи. Критерії руйнування односпрямованого композиційного матеріалу.

**Тема 5. Розрахунок шаруватих композитних конструкцій**

Стержні з композиційних матеріалів. Композитні пластини. Моделі деформування тришарових конструкцій. Математичні моделі клейових з'єднань. Дослідження осесиметричного напруженого стану пластин з круговими вирізами та концентричними накладками. Методика розрахунку на міцність тришарових конструкцій з урахуванням міжшарових дефектів структури матеріалу.

### 5. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин						
	усього	у тому числі					
		лекції	практ.	лаб.	сем.	інд.	с.р.
<b>Розділ 1. Основні положення механіки композитних конструкцій</b>							
Тема 1. <i>Визначення композиційного матеріалу з позиції механіки суцільних середовищ</i>	8	4					4
Тема 2. <i>Волокнисті композиційні матеріали</i>	20	8					12
Тема 3. <i>Пружні характеристики шаруватих композитів</i>	20	8					12
Разом за розділом 1	48	20					28
<b>Розділ 2. Розрахунок на міцність та проектування конструкцій з композиційних матеріалів</b>							
Тема 4. <i>Критерії міцності та аналіз руйнування конструкцій з композиційних матеріалів</i>	16	4					12
Тема 5. <i>Розрахунок шаруватих композитних конструкцій</i>	26	6					20
Разом за розділом 2	42	10					32
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>30</b>					<b>60</b>

### 6. Самостійна робота

Метою самостійної роботи є навчитися користуватися навчально-методичними матеріалами, бібліотечними фондами, базами даних наукової літератури і інформаційними джерелами і іншими інформаційними джерелами, складати конспекти, аналізувати матеріал, порівнювати різні наукові концепції та робити висновки. Види самостійної роботи студента: опрацювання лекційного матеріалу; опрацювання тем курсу, які виносяться на самостійне вивчення; виконання завдань для самостійної роботи, відвідування консультацій; підготовка до підсумкового контролю.

#### Тематики для самостійного вивчення

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Застосування композиційних матеріалів в техніці.	4
2	Теоретичні основи зміцнення матеріалів волокнами.	8
3	Основні промислові способи виготовлення композиційних	6

	матеріалів	
4	Тензори пружності для можливих видів макроскопічної симетрії	6
5	Методи розрахунку й оцінки ефективних властивостей композиційних матеріалів.	8
6	Мікромодель односпрямованого композита, яка враховує форму волокон	6
7	Лінійні та нелінійні теорії шаруватих пластин та оболонки	8
8	Концентратори та дефекти у композитах	4
9	Методи розрахунку шаруватих конструкцій на міцність	10
	Разом	60

### **Завдання для самостійної роботи<sup>\*)</sup>**

1. Розробити алгоритм визначення фізико-механічних властивостей односпрямованих шарів композиційного матеріалу .
2. Розробити алгоритм визначення питомих показників односпрямованих композиційних матеріалів
3. Розробити алгоритм визначення коефіцієнтів матриці жорсткості і пружних констант шаруватого композиційного матеріалу
4. Розробити алгоритм визначення деформацій і напружень у шарах композиційного матеріалу у зв'язаній системі координат
5. Розробити алгоритми оцінки міцності шаруватих композитів.
6. Розробити алгоритми раціонального проектування пакета композиційного матеріалу з заданими властивостями на основі методів нелінійного програмування..

<sup>\*)</sup> за бажанням здобувача він може сам скласти перелік завдань для самостійної роботи, адаптувавши їх під своє наукове дослідження, за умови узгодження переліку і змісту завдань з викладачем і науковим керівником

### **7. Методи навчання**

При викладанні дисципліни застосовуються словесні, наочні та практичні методи навчання. Словесні та наочні методи навчання використовуються під час лекцій, практичних занять, самостійної роботи, консультацій, практичні – при здійсненні студентами самостійної роботи. Під час проведення лекцій та практичних занять використовуються такі словесні методи як розповідь і пояснення окремих теоретичних положень навчальної дисципліни. До числа наочних методів, які застосовуються при викладанні дисципліни, належать: ілюстрація, демонстрація, робота із програмними продуктами для розв'язання задач механіки композитних конструкцій.

### **8. Методи контролю**

Поточний контроль теоретичних знань, що отримані здобувачем вищої освіти ступеня доктора філософії, здійснюється шляхом опитування та перевірки виконання завдань для самостійної роботи.

Підсумковий контроль проводиться у вигляді заліку.

### **9. Схема нарахування балів**

Поточний контроль, самостійна робота					Разом	Екзамен	Сума
Розділ 1		Розділ 2					
T1	T2	T3	T4	T5	100	–	100
20	20	20	20	20			

T1, T2 ... – теми розділів. Бали за оцінювання кожного з 5 індивідуальних завдань входять до загальної кількості балів за поточне тестування за відповідною темою T1, T2...

### ***Критерії оцінювання***

Бали поточного контролю за кожною темою складаються з оцінювання відповідей під час усного опитування щодо засвоєння лекційного матеріалу (1 – розуміння окремих положень механіки композитних конструкцій, 2 – вміння визначати механічні характеристики композиційних матеріалів в залежності від властивостей компонентів, 3 – знання рівнянь механіки композитних конструкцій та їх застосування для розв'язання комплексних задач деформування та руйнування композитних конструкцій, 4 – застосування теорій, принципів, методів до розв'язання задач раціонального проектування шаруватих конструкцій за різними критеріями), оцінювання ступені опрацювання матеріалу тем для самостійного вивчення (1 – часткове розуміння матеріалу, 2 – досконале розуміння матеріалу) та оцінювання виконання завдання для самостійної роботи (1 – вміння визначити клас композиційного матеріалу, 2 – вміння оцінювати ефективні властивостей композиційних матеріалів, 3 – вміння формулювати гіпотези та обирати метод для розв'язання поставленої задачі, 4 – вміння застосовувати критерії міцності для аналізу руйнування конструкцій з композиційних матеріалів, 5 – вирішення поставленої задачі в цілому, 6 – повне вирішення поставленої задачі з творчим аналізом отриманих результатів).

За кожне індивідуальне завдання здобувач може отримати максимум 10 балів за такими критеріями: Відсутність помилок в теоретичній частині – 3 бали; Коректність викладок – 3 бали; Послідовність викладок – 2 бали; Логічність викладок – 2 бали.

### ***Шкала оцінювання***

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка для заліку
50 – 100	зараховано
0 – 49	не зараховано

## **10. Рекомендоване методичне забезпечення**

Конспект лекцій.

Перелік завдань і методичні матеріали для самостійної роботи.

### ***Основна література***

1. Балдук П.Г., Лазарєва Д.В., Сур'янінов М.Г. Моделювання композиційних конструкцій. – Одеса: ОДАБА, 2017. – 120с.
2. Технологія композиційних матеріалів: Навчальний посібник /Гончаренко В.В., Коваленко І.В. – К.: 2007. –131 с.
3. Копань В. С. Композиційні матеріали [Текст] : навч. посіб. – К.: Пульсари, 2004. – 196 с.
4. Механика композитов: В 12 т. Т. 9. Динамика элементов конструкций / В.Д. Кубенко, А.Э. Бабаев, Е.И. Беспалова, А.Т. Василенко, А.Я. Григоренко / под общ. ред. А.Н. Гузя. – Киев: А.С.К., 1999. – 379 с.
5. Верещака С. М. Механіка композиційних матеріалів: навчальний посібник. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 160 с.
6. Ванін Г.А. Микромеханика композиционных материалов. – Киев: Наукова думка, 1985. – 304 с.
7. Фрегер Г.Е. Игнатъев Б.Б, Меликбежян А.Х. и др. Механика композиционных материалов: Учеб. пособие. - Луганск. Изд-во Восточноукр. ун-та, 1998. – 140 с.

8. Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р. Новые композиционные материалы. - К.: Выща школа, 1997. – 312 с.
9. Mechanics of Composite Structural Elements. 2nd edition / H. Altenbach, J. Altenbach, W. Kissing. – Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2018. – 503 p.
10. Полімерні композиційні матеріали в ракетнокосмічній техніці: Підручник / Джур Є.О., Кучма Л.Д., Манько Т.А., Ситало В.І. – К.: “Вища освіта”, 2003. – 399 с.
11. Vasiliev V.V., Morozov E.V. Advanced Mechanics of Composite Materials and Structures. 4th edition.– Amsterdam: Elsevier, 2018. – 864 p.

#### *Допоміжна література*

12. Composite materials for aircraft structures / Alan Baker, Stuart, Dutton, and Donald Kelly-- 2nd ed. - American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004. – 602 p.
13. Reddy J.N. Mechanics of laminated composite plates: theory and analysis. – Boca Raton: CRC Press, 1997.
14. Композиционные материалы, В 8-ми т. / Пер с англ. Под ред. Л.Браутмана и Р.Крока – М.: Мир, Машиностроение, 1978.
15. Фудзе Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов.– М.: Мир, 1982
16. Справочник по композиционным материалам в 2-х кн. Под ред. Дж. Любина. Пер. с англ. А.Б.Геллера и др. Под ред. Б.Э. Геллера.– М.: Машиностроение, 1988.
17. Композиционные материалы: Справочник под ред. Д.М. Карпиноса.– Киев: Наукова думка, , 1985.
18. Гарнопольский Ю.М., Жигун И.Г., Поляков В.А. Пространственно-армированные композиционные материалы.– М.: Машиностроение, 1987.
19. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука, 1973.
20. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. – М.: Наука, 1974.
21. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин. – М.: Наука, 1987.
22. Mukhopadhyay M. Mechanics of composite materials and structures. – Hyderabad: Universities Press, 2005.
23. Barbero E.J. Finite element analysis of composite materials (composite materials: design and analysis). – Boca Raton: CRC Press, 2007.
24. Верещака С. М. Нелинейное деформирование и устойчивость многослойных элементов конструкций с дефектами структуры: монография / С. М. Верещака. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2009. – 286 с.
25. Физико-механические и эксплуатационные свойства композиционных материалов. Учеб. пособие/ В.Е. Гайдайчук, Я.С. Карпов - Харьков, ХАИ, - 1987. -72с. 5. Композиционные материалы: Учеб. пособие / В.Е. Гайдайчук, Я.С. Карпов, В.Ф. Несвит - Харьков, ХАИ, - 1987. - 53 с.
26. Фрегер Г. Е., Аптекарь М. Д., Игнатъев Б. Б. и др. Основы механики и технологии композиционных материалов. – К.: Аристей, 2004. – 524 с.
27. Пахаренко В. А., Яковлева Р. А., Пахаренко А. В. Переработка полимерных композиционных материалов. – К.: Воля, 2006. – 552 с.
28. Горик О.В., Пискунов В.Г., Чередников В.М. Механіка деформування композитних брусів. Монографія. – Полтава : АСМІ, 2008. – 404 с.

#### *Інформаційні ресурси*

1. Навчально-методичний комплекс навчальної дисципліни на сайті [irmach.kharkov.ua](http://irmach.kharkov.ua)
1. Мережа Internet.
2. Бібліотека ІПМаш НАН України.