

Національна академія наук України

Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Заступник директора
з наукової роботи


“ ” 2018 р.

УКРАЇНА
ІНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ
МАШИНО-
БУДУВАННЯ
ІМ. А. М. ПІДГОРНОГО
№03534570
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК

**Робоча програма навчальної дисципліни
«Моделі та методи механіки композитних конструкцій»**

спеціальність 113 Прикладна математика

спеціалізація 11 Математика та статистика

2019 / 2020 навчальний рік


Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою інституту 18 жовтня 2018 року, протокол № 10

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Сметанкіна Н.В., завідувач відділу вібраційних і термоміцнісних досліджень, докт. техн. наук, ст. наук. співр.

Програму схвалено на засіданні відділу математичного моделювання та оптимального проектування від 5 вересня 2018 року, протокол № 2.

Завідувач відділу математичного моделювання та оптимального проектування


(підпис)

чл.-кор. НАНУ Стоян Ю.Г.
(прізвище та ініціали)

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

Протокол від 06.09.2018 року № 5

Голова НТПР


(підпис)

чл.-кор. НАН України Стоян Ю.Г.
(прізвище та ініціали)

© Сметанкіна Н.В., 2018 рік

© ІПМаш НАН України, 2018 рік

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Моделі та методи механіки композитних конструкцій» складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти доктора філософії зі спеціальності 113 «Прикладна математика», спеціалізація 11 «Математика та статистика».

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. 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.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни є

- знайомство із класами перспективних композиційних матеріалів, їх властивостями і галузями застосування;
- вивчення способів моделювання структури композиційних матеріалів;
- формування вміння визначати механічні характеристики композиційних матеріалів в залежності від властивостей компонентів;
- засвоєння основних понять та рівнянь механіки композитних конструкцій;
- формування наукового підходу до моделювання та дослідження процесів деформування та руйнування композиційних матеріалів на основі сучасних методів.

1.3. Кількість кредитів – 3

1.4. Загальна кількість годин – 90

1.5. Характеристика навчальної дисципліни

Вибіркова	
Вид підсумкового контролю - залік	
Рік підготовки	1-й
Семестр	1-й
Лекції	30 год.
Практичні, семінарські заняття	___ год.
Лабораторні заняття	___ год
Індивідуальні завдання	___ год
Самостійна робота	60 год.

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати: різні структури композиційних матеріалів, їх відмінні характеристики й особливості деформування та руйнування; визначальні співвідношення процесу деформування різних композиційних матеріалів і критерії їх руйнування; методи розв'язання крайових задач у механіці композиційних матеріалів.

вміти: проводити науково-дослідну діяльність в галузі механіки композиційних матеріалів з використанням сучасних математичних моделей і методів.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основні положення механіки композитних конструкцій.

Тема 1. Визначення композиційного матеріалу з позиції механіки суцільних середовищ. Класифікація композиційних матеріалів.

Конструкційні властивості композиційних матеріалів. Відмінність композиційних матеріалів від інших видів матеріалів. Класифікація композиційних матеріалів. Класифікація конструкційних матеріалів по природі матеріалу й по технологічному виконанню. Армуючі елементи. Матриці.

Тема 2. Анізотропія пружно-міцнісних властивостей і конструкційна міцність.

Анізотропія й конструкційна міцність. Анізотропія деформації. Анізотропія пружних властивостей. Тензори пружності для можливих видів макроскопічної симетрії. Ефективна реалізаційна міцність.

Розділ 2. Методи розрахунку й оцінки ефективних властивостей композиційних матеріалів

Тема 3. Методи розрахунку й оцінки ефективних властивостей.

Метод і модулі Фойхта. Оцінка ефективного тензора "зверху". Метод і модулі Рейсса. Оцінка ефективних властивостей "знизу". Вилка Хашина-Штрикмана.

Тема 4. Основні тенденції розвитку методів визначення пружних характеристик композиційного матеріалу.

Ефективні властивості волокнистого композита. Рівняння для ефективних властивостей волокнистих композитів. Межі властивостей у волокнистих композитах з ізотропними компонентами.

Розділ 3. Шаруваті композити.

Тема 5. Класична теорія шаруватих пластин.

Гіпотеза Кірхгофа-Лява. Основні співвідношення та рівняння.

Тема 6. Уточнена теорія шаруватих ортотропних пластин та оболонок.

Зведення тривимірних рівнянь до двовимірних рівнянь теорії шаруватих пластин на основі гіпотези ламаної лінії. Розв'язок задачі про нестационарні коливання шаруватих пластин та оболонок з ортотропними шарами.

Тема 7. Чисельні методи розрахунку тришарових пластин та оболонок.

Особливості деформування тришарових конструкцій. Розв'язання задач статички.

Розділ 4. Розрахунок на міцність та проектування конструкцій з композиційних матеріалів.

Тема 8. Критерії міцності та аналіз руйнування конструкцій з композиційних матеріалів.

Основні критерії міцності армованих матеріалів. Міцність шару. Фізичні характеристики, що впливають на міцність шару. Види руйнування шару. Односпрямований композит. Шаруватий матеріал.

Тема 9. Раціональне проектування шаруватих конструкцій.

Постановка задачі раціонального проектування шаруватих конструкцій. Мінімізація маси ортотропних пластин та оболонок.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин						
	усього	у тому числі					
		лекції	практ.	лаб.	сем.	інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	
Розділ 1. Основні положення механіки композитних конструкцій							
Тема 1. Визначення композиційного матеріалу з позиції механіки суцільних середовищ. Класифікація композиційних матеріалів	10	4					6
Тема 2. Анізотропія пружно-міцнісних властивостей і конструкційна міцність.	10	4					6
Разом за розділом 1	20	8					12
Розділ 2. Методи розрахунку й оцінки ефективних властивостей композиційних матеріалів							
Тема 3. Методи розрахунку й оцінки ефективних властивостей композиційних матеріалів	12	4					8
Тема 4. Основні тенденції розвитку методів визначення пружних характеристик композиційного матеріалу.	10	4					6
Разом за розділом 2	22	8					14
Розділ 3. Шаруваті композити							
Тема 5. Класична теорія шаруватих пластин	6	2					4
Тема 6. Уточнена теорія шаруватих ортотропних пластин та оболонок	10	4					6
Тема 7. Чисельні методи розрахунку тришарових пластин та оболонок	10	2					8
Разом за розділом 3	26	8					18
Розділ 4. Розрахунок на міцність та проектування конструкцій з композиційних матеріалів							
Тема 8. Критерії міцності та аналіз руйнування конструкцій з композиційних матеріалів	14	4					10
Тема 9. Оптиміальне проектування шаруватих конструкцій	8	2					6
Разом за розділом 4	22	6					16
Усього годин	90	30					60

4. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Застосування композиційних матеріалів в техніці. Теоретичні основи зміцнення матеріалів волокнами.	9
2	Ефективні модулі середовища зі сферичними та циліндричними включеннями	7
3	Лінійні та нелінійні теорії шаруватих пластин та оболонок	5
4	Критерії руйнування композиційних матеріалів. Задача створення композита із задалегідь заданими властивостями.	9
	Разом	30

5. Методи контролю

На заняттях – опитування. По завершенню розділу – усний контроль. Форма підсумкового контролю знань – залік.

6. Схема нарахування балів

Поточне тестування та самостійна робота									Залік	Сума	
Розділ 1		Розділ 2		Розділ 3			Розділ 4				Разом
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	60	40	100
5	10	10	5	5	5	5	10	5			

T1, T2 ... T9 – теми розділів.

Шкала оцінювання

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

7. Рекомендована література

Основна

1. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. – М.: Мир, 1982.
2. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. – М.: МГУ, 1984.
3. 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.
4. Механика композитов: В 12 т. / под общ. ред. А.Н. Гузя. – Киев: А.С.К., 1999.
5. Сметанкина Н.В. Нестационарное деформирование, термоупругость и оптимизация многослойных пластин и цилиндрических оболочек. – Харьков: Изд-во «Міськдрук», 2011.

Допоміжна

1. Болотин В.В., Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. – М.: Машиностроение, 1980.
2. Reddy J.N. Mechanics of laminated composite plates: theory and analysis.– Boca Raton: CRC Press, 1997.
3. Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П. Осреднение процессов в периодических средах.– М.: Наука, 1984.
4. Композиционные материалы, В 8-ми т. /Пер с англ. Под ред. Л.Браутмана и Р.Крока – М.: Мир, Машиностроение, 1978.
5. Ванин Г.А. Микромеханика композиционных материалов. – Киев: Наукова думка, 1985.
6. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988.
7. Фудзе Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов.– М.: Мир, 1982
8. 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.
9. Композиционные материалы: Справочник. В.В.Васильев, Д.В.Протасов, В.В.Болотин и др. Под ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990.
10. Композиционные материалы: Справочник под ред. Д.М. Карпиноса.– Наукова думка, Киев, 1985.
11. Тарнопольский Ю.М., Жигун И.Г., Поляков В.А. Пространственно-армированные композиционные материалы.– М.: Машиностроение, 1987.
12. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука, 1973.
13. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. – М.: Наука, 1974.
14. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин. – М.: Наука, 1987.
15. Mukhopadhyay M. Mechanics of composite materials and structures. – Hyderabad: Universities Press, 2005.
12. Barbero E.J. Finite element analysis of composite materials (composite materials: design and analysis). – Boca Raton: CRC Press, 2007.

10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. www.odnb.odessa.ua
2. A homogenization method for pre-impregnated composite materials [Електронний ресурс] / Н. Teodorescu-Draghicescu, S. Vlase, A. Chiru // Proceedings of the World Congress on Engineering, 2009, Vol. II, WCE 2009, July 1-3, 2009, London, U.K. – Режим доступа: http://www.iaeng.org/publication/WCE2009/WCE2009_pp1563-1568.pdf
3. Moreno M.E. Finite element analysis applied to evaluation of effective material coefficients for piezoelectric fiber composites [Електронний ресурс] / М.Е. Moreno, V. Tita, F.D. Marques // in 2009 Brazilian Symposium on Aerospace Eng. & Applications, September 14-16, 2009, S. J. Campos, SP, Brazil. – Режим доступа: <http://www.cta-dlr2009.ita.br/Proceedings/PDF/59053.pdf>
4. Moreno M.E. Influence of boundary conditions on the determination of effective material properties for active fiber composites [Електронний ресурс] / М.Е. Moreno, V. Tita, F.D. Marques // in 2010 Pan-American Congress of Applied Mechanics, January 04-08, 2010, Foz do Iguacu, PR, Brazil. – Режим доступа: http://www.set.eesc.usp.br/pacam2010/pacam_cd/proceedings/sympD-micromechanicalModeling/PAC0207-TitaV.pdf

5. Klastorny M., Konderla P., Piekarskiy R. An exact stiffness theory of unidirectional xFRP composites // *Mekhanika kompozitnyh materialov*. 2009. Vol. 45, Issue 1. P. 109–144.
6. Grebenyuk S. N. Elastic characteristics of composite material with transversely isotropic matrix and fiber // *Methods of solving applied problems of mechanics of a deformable solid*. 2011. Issue 12. P. 62–68.
7. Tang T., Yu W. A variational asymptotic micromechanics model for predicting conductivities of composite materials // *Journal of mechanics of materials and structures*. 2007. Vol. 2, Issue 9. P. 1813–1830. doi: <https://doi.org/10.2140/jomms.2007.2.1813>
8. Tang T. *Variational Asymptotic Micromechanics Modeling of Composite Materials*. Logan: Utah State University, 2008. 280 p.
9. Bol'shakov V. I., Andrianov I. V., Danishevskiy V. V. *Asimptoticheskie metody rascheta kompozitnyh materialov s uchetom vnutrenney struktury: monografiya*. Dnepropetrovsk: «Porogi», 2008. 196 p.
10. Dimitrienko Yu. I., Gubareva E. A., Sborshchikov S. V. Finite element modulation of effective viscoelastic properties of unilateral composite materials // *Matematicheskoe modelirovanie i chislennyye metody*. 2014. Issue 2. P. 28–48.
URL: <http://www.mathnet.ru/links/4986a9de2f7714798765784534f1cd23/mmcm12.pdf>
11. Kuimova E. V., Trufanov N. A. The numerical prediction of effective thermoviscoelastic properties of unidirectional fiber composite with the viscoelastic components // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009. Issue 4 (70). P. 129–148.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/chislennoe-prognozirovaniye-effektivnyh-termovyazkoupругih-harakteristik-odnonapravlenno-go-voloknistogo-kompozita-s-vyazkoupругimi>
12. Kaminskii A. A., Selivanov M. F. A Method for Determining the Viscoelastic Characteristics of Composites // *International Applied Mechanics*. 2005. Vol. 41, Issue 5. P. 469–480.
13. Analysis of particles loaded fiber composites for the evaluation of effective material properties with the variation of shape and size / Srivastava V. K., Gabbert U., Berger H., Singh S. // *International Journal of Engineering, Science and Technology*. 2011. Vol. 3, Issue 1. P. 52–68.
14. Klusemann B., Svendsen B. Homogenization methods for multi-phase elastic composites: Comparisons and benchmarks // *Technische mechanik*. 2010. Vol. 30, Issue 4. P. 374–386.
URL: http://www.ovgu.de/ifme/zeitschrift_tm/2010_Heft4/07_Klusemann.pdf
15. Yao Y., Chen S., Chen P. The effect of a graded interphase on the mechanism of stress transfer in a fiber-reinforced composite // *Mechanics of Materials*. 2013. Vol. 58. P. 35–54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2012.11.008>
16. Yao Y., Chen S. The effects of fiber's surface roughness on the mechanical properties of fiber-reinforced polymer composites // *Journal of Composite Materials*. 2012. Vol. 47 (23). P. 2909–2923.
17. Kling S., Czigany T. A comparative analysis of hollow and solid glass fibers // *Textile Research Journal*. 2013. Vol. 83, Issue 16. P. 1764–1772.
18. Zaitsev A. V., Sokolkin Yu. V., Fukalov A. A. Effective bulk moduli under plain strain to two-phase unidirectional composites reinforced by anisotropic hollow and solid fibers // *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta*. 2011. P. 37–48.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnye-moduli-obemnogo-szhatiya-pri-ploskoy-deformatsii-dvuhfaznyh-odnonapravlenno-armirovannyh-kompozitov-s-anizotropnyimi>
19. Experimental and theoretical investigation of hollow polyester fibers effect on impact behavior of composites / Nasr-Isfahani M., Tehran M. A., Latifi M., Halvaei M., Warnet L. // *Journal of Industrial Textiles*. 2017. Vol. 47, Issue 7. P. 1528–1542.
20. Nasr-Isfahani M., Latifi M., Amani-Tehran M. Improvement of impact damage resistance of epoxy-matrix composites using ductile hollow fibers // *Journal of engineered fibers and fabrics*.

2013. Vol. 8, Issue 1. P. 69–74. URL: <https://www.jeffjournal.org/papers/Volume8/JEFF8-01-08.M.Latifi.pdf>

21. Balaji R., Sasikumar M., Jeyanthi S. Characterisation of Hollow Glass Fibre Reinforced Vinyl-Ester Composites // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9, Issue 48. URL: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/viewFile/107921/76821>

Grebenyuk S. M. Determination of the elastic constants of composite with transtropic matrix and fiber based on the kinematic consistency condition // Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu. 2012. Issue 1. P. 62–76.