

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«Поширення хвиль з врахуванням структурних рівнів матеріалів та базових властивостей деформування матеріалів»

| | |
|--|--|
| 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 – 32 год.</i> |
| | <i>Практичні (семінарські) – 16 год.</i> |
| | <i>Самостійна робота – 72 год.</i> |
| Форма підсумкового контролю | <i>Диф.залик</i> |
| Відділ | <i>Реологія</i> |
| Викладач (-і) | <i>Заступник завідувача відділу реології, к.ф.-м.н. Юрчук Василь Миколайович</i> |
| Контактна інформація викладача (-ів) | <i>vasil_2008@ukr.net, тел. +38-095-068-16-87</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

Навчальна дисципліна «Поширення хвиль з врахуванням структурних рівнів матеріалів та базових властивостей деформування матеріалів» є однією із фундаментальних дисциплін освітньої програми Механіки деформівного твердого тіла. Розуміння та знання, цієї дисципліни дає можливість досліджувати поширення та взаємодію хвиль з врахуванням структурних рівнів матеріалів. Додатково дисципліна включає вивчення базових властивостей деформування матеріалів, а отже охоплює великий розділ механіки, що потрібно буде майбутньому досліднику в області механіки матеріалів.

Метою навчальної дисципліни «Поширення хвиль з врахуванням структурних рівнів матеріалів та базових властивостей деформування матеріалів» є освоєння знань та вмінь, притаманних прикладній математиці,

шляхом здобуття компетентностей, необхідних для виконання *самостійних* та оригінальних *наукових досліджень*, що історично проводяться в інституті механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, результати яких мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення. Лекційний курс супроводжується індивідуальними завданнями, які аспіранти виконують під час самостійної роботи над лекціями. Ці завдання тісно пов'язуються із роботою над дисертацією, підготовкою наукових праць та презентацій на конференціях.

Головними завданнями вивчення навчальної дисципліни «Поширення хвиль з врахуванням структурних рівнів матеріалів та базових властивостей деформування матеріалів» є формування знань, практичних навичок та компетентностей, потрібних для проведення самостійних кваліфікованих наукових досліджень:

- Загальні компетентності: ЗК1- ЗК4, ЗК7- ЗК9 (відповідно до переліку загальних компетентностей ОП).
- Фахові компетентності: СК1- СК3, СК5, СК6, СК8 (відповідно до переліку фахових компетентностей ОП).
- Загальні програмні результати навчання: ПРН1, ПРН3, ПРН 5, ПРН8- ПРН11, ПРН12- ПРН14.

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, які вивчаються на першому курсі аспірантури. Також аспіранти повинні володіти методами обчислювальної математики та методами математичного моделювання систем та процесів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1. Теорія хвиль у матеріалах

Тема 1. Загальні проблеми теорії хвиль у матеріалах.

Тема 2. Лінійні пружні хвилі в матеріалах.

Тема 3. Нелінійні пружні хвилі в матеріалах.

Змістовний модуль 2. Теорія в'язко-, термо-, п'єзо- і магнітопружних хвиль.

Тема 4. В'язкопружні та термопружні хвилі в матеріалах.

Тема 5. Пружнопластичні, п'єзопружні та магнітопружні хвилі.

4. Навчальні матеріали та ресурси

4.1. Основна література

1. *Руцицький Я.Я., Юрчук В.М.* Аналогії між класичною задачею про коливання тіл і не класичною задачею про поширення плоских хвиль// Прикл. механіка. – 2021. 57, N4. – С. 11 – 22;
2. *Altenbach H., Eremeyev V.A., Pavlov I.S., Porubov A.V.* Nonlinear Wave Dynamics of Materials and Structures. – Cham: Springer, 2020. – 681 p.
3. *Andrianov I.V., Awrejcewicz J., Danishevskyy V.* Linear and Nonlinear Waves in Microstructured Solids: Homogenization and Asymptotic Approaches. – Boca Raton: CRC Press, 2021. – 250 p.
4. *Berezovski A., Maugin G.A., Engelbrecht J.* Numerical Simulation of Waves and Fronts in Inhomogeneous Solids. - Singapore-London: World Scientific, 2008. – 250 p.
5. Deliktas-Ozdemir E., Ahmetolan S., Tuna D. Existence of solitary SH waves in a heterogeneous elastic two-layered plate. *Z. Angew.// Math. Phys.* 73, (2022), P-220.
6. *Guz A.N.* Elastic waves in bodies within with initial (residual) stresses. - Kyiv: PH “Akademperiodyka”, 2024. – 668 p.
7. *Guz A.N., Rushchitsky J.J.* Short introduction to mechanics of nanocomposites. – Rosemead, CA: Scientific & Academic Publishing, 2013. – 280 p.
8. *Rushchitsky J.J.* Theory of waves in materials. Copenhagen: Ventus Publishing ApS, 2011– 270 p. (free text-book in BookBooN.com).
9. *Rushchitsky J.J.* Nonlinear Elastic Waves in Materials. Heidelberg: Springer, 2014.– 454p
10. *Rushchitsky J.J.* Foundations of Mechanics of Materials. Copenhagen: Ventus Publishing ApS, 2021 - 276 p.
11. *Rushchitsky J.J.* Elasticity of Auxetic Materials. Chapter 11 in the book "Elasticity of Materials", Eds. Evingür G.A., Pekcan O., London. IntechOpen, 2021. – 234 p.
12. *Rushchitsky J., Yurchuk V.* Comparison of Evolution of Five Types of Elastic Waves (harmonic, Gauss, Whittaker, MacDonald, Friedlander Initial Profiles). Chapter 25 in the book: Advanced Problems of Mechanics. Berlin, Springer, 2023.

4.2. Додаткова література

13. *Arbab I.A.* A New Wave Equation of the Electron // J. Modern Physics. – 2011. – 2, N 9. – P. 1012 – 1016.
14. *Ekin D.* Bright and Dark Solitary LoveWaves in a Heterogeneous Semi-Space Coated with a Heterogeneous Elastic Layer// Müh. Bil. ve Araş. Dergisi, 2023; 5 (1) P-67 - 78.
15. *Hetnarski R., Ignaczak J.* Mathematical Theory of Elasticity. 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press 2018. – 837 p.
16. *Kanaun S.* Heterogeneous Media. Local Fields, Effective Properties, and Wave Propagation. – Amsterdam: Elsevier, 2020. – 494 p.
17. *Malkin A., Isayev A.* Rheology. Concepts, Methods, and Applications. 3rd ed. – Toronto: Chemtec Publi-shing, 2017. – 500 p.
18. *Yurchuk V.N., Rushchitsky J.J.* Numerical Analysis of the Evolution of a Solitay Cylindrical Radial Wave with an Initial Profile in the Form of Macdonald Function // Int. Appl.Mech.– 2018. – 54, N3. – P. 259 – 265.
19. *Yurchuk V.N.* Difference in the evolution of longitudinal and transverse bell-shaped plane waves propagating in nonlinear elastic composites// Int. Appl. Mech. – 2019. – 55, N1. – P. 60 – 63.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

| № | Назва теми лекції та перелік основних питань |
|----------|---|
| Лекція 1 | Хвилі в навколишньому світі. Матеріали в навколишньому світі. <i>Рекомендована література:</i> 1-4, 8 |
| Лекція 2 | Процедури континуалізації та гомогенізації. Матеріальний континуум. Будівельна механіка матеріалів. Макромеханіка, мезомеханіка, мікромеханіка, наномеханіка. Композиційні матеріали. <i>Рекомендована література:</i> 1-4 |
| Лекція 3 | Основні механічні властивості матеріалів: пружність, пластичність, пружнопластичність, жорсткопластичність, термопружність, термопластичність, в'язкість, в'язкопружність, в'язкопластичність, дифузійна пружність, електропружність, магнітопружність. <i>Рекомендована література:</i> 10,11,14,15 |
| Лекція 4 | Пружні хвилі. Базова лінійна модель. Кінематика і кінетика руху. Зміщення, деформація, напруження. Рівняння балансу. Рівняння пружної хвилі. Об'ємні та зсувні лінійні пружні хвилі. <i>Рекомендована література:</i> 3, 4, 5 |
| Лекція 5 | Пружні хвилі. Плоскі лінійні гармонічні пружні хвилі. Рівняння Крістоффеля. Тензор Крістоффеля. Типи плоских хвиль і відповідні хвильові рівняння. <i>Рекомендована література:</i> 4, 5,15 |

| | |
|-----------|---|
| Лекція 6 | Пружні хвилі. Базова лінійна модель. Хвилі Релея. <i>Рекомендована література: 3-5,17</i> |
| Лекція 7 | Структурні лінійні моделі. Структурна модель сумішей пружних матеріалів. Пружні константи. <i>Рекомендована література: 8-12</i> |
| Лекція 8 | Основні нелінійні моделі. Класичний підхід до нелінійних хвильових рівнянь. Квадратично та кубічно нелінійні хвильові рівняння. Методи послідовних наближень і повільно змінних амплітуд. <i>Рекомендована література: 2,3,7,6 -11</i> |
| Лекція 9 | Пружні хвилі. Класичний підхід до нелінійних хвильових рівнянь. Квадратично та кубічно нелінійні плоскі пружні гармонічні хвилі. Основні нелінійні ефекти. Спотворення та еволюція плоских хвиль. <i>Рекомендована література: 7,6 -11,15-19</i> |
| Лекція 10 | Пружні хвилі. Базисні та структурні лінійні моделі. Структурна модель пружних сумішей. <i>Рекомендована література: 2,3,7</i> |
| Лекція 11 | В'язкопружні хвилі. Базові моделі. Принцип Больцмана. Найпростіші реологічні моделі: Максвелла, Фойгта, Пойнтінга-Томсона і Кельвіна. Час релаксації та час затухання. Диференціальні реологічні моделі. <i>Рекомендована література: 1,2, 4</i> |
| Лекція 12 | В'язкопружні хвилі. Реологічні рівняння. Ядра релаксації та повзучості. Дробово-експоненціальні оператори. Загальне положення теорії в'язкопружності. Об'ємні та зсувні хвилі. <i>Рекомендована література: 4, 5</i> |
| Лекція 13 | В'язкопружні хвилі. Основні особливості на прикладі плоских хвиль у випадках класичної та структурної моделей. <i>Рекомендована література: 10-12, 13, 16</i> |
| Лекція 14 | Пружнопластичні хвилі. Класичні моделі пружнопластичного деформування. Умови пластичності, критерії Треска та Губера-Мізеса. Просте і складне навантаження, розвантаження. <i>Рекомендована література: 1,3,5, 13-16</i> |
| Лекція 15 | Пружнопластичні хвилі. Класичні моделі пружнопластичного деформування. Ударні хвилі в стержні. Основні властивості ударних хвиль. <i>Рекомендована література: 1,3,5,10-12</i> |
| Лекція 16 | П'єзопружні хвилі. Діелектрики. П'єзоелектричні матеріали. Прямий і зворотний п'єзоєфекти. Базова класична модель. <i>Рекомендована література: 1,3,5, 10-12</i> |

Практичні заняття

| № | Назва теми занять та перелік основних питань |
|---------------------|---|
| Практичне заняття 1 | Розпізнання коливальних ознак хвиль. Використання властивостей в'язкопружності. |
| Практичне заняття 2 | Розрізнати характерні характеристики матеріалів. Рівняння балансу. Рівняння пружної хвилі. |
| Практичне заняття 3 | Геометрична інтерпретація вектора-напрямку. Перетворення рівняння Крістоффеля. Побудова розв'язку хвильового рівняння для хвилі Релея |
| Практичне заняття 4 | Використання методів послідовних наближень і повільно змінних амплітуд до розв'язку хвильових рівнянь. |

| | |
|----------------------------|--|
| <i>Практичне заняття 5</i> | Нелінійні пружні плоскі гармонічні хвилі. Побудова сценарії хвильової еволюції. Нова ієрархія хвиль. |
| <i>Практичне заняття 6</i> | Розв'язування диференціальних, реологічних рівнянь в'язкопружних хвиль. Обчислення часу релаксації та затухання реологічної моделі. |
| <i>Практичне заняття 7</i> | Дисперсійні криві для моделей Фойгта та Максвелла. Стаціонарний і нестаціонарний варіанти дисперсійних кривих. Застосування критеріїв Треска та Губера-Мізеса. |
| <i>Практичне заняття 8</i> | Ударні хвилі, хвилі слабких і сильних розривів. Знаходження різниці між суцільними хвилями (наприклад, гармонічними) і переривчастими (наприклад, ударними). Зв'язані системи рівнянь. |

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 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Види розривів, які зазвичай розглядаються, коли хвилі вивчаються в рамках поняття розривні. 2. Загальні атрибути, якщо ви спостерігаєте дві хвилі різної природи (наприклад, хвилі на піску та хвилі руху). | 6 |
| 2 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Приклади реальних дисперсних матеріалів. 2. Формули Кірхгофа, Пуассона, Даламбера. 3. Постановка задачі Адамара. Нестійкості Гельмгольца і Тейлора | 4 |
| 3 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Властивість матеріалу, що викликає розсіювання енергії під час деформації матеріалу. 2. Основні характеристики хвиль. Біжучі хвилі. Гармонічні хвилі. 3. Фазова та групова швидкості хвиль. | 4 |
| 4 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Структурні властивості матеріалу та рівень його анізотропії. 2. Властивість ізотропного матеріалу для розділу хвильового руху на об'ємні та зсувні хвилі, коли здійснюється перехід до менш симетричних за структурою властивості матеріалів. 3. Скінченні деформації. Використання тензорів деформацій (Коші-Гріна, Альмансі, логарифмічний, Генкі-Гріна, Хенкі-Аль-мансі, Фінгер тощо), для нелінійної теорії пружності. | 6 |
| 5 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Умови контакту на площині, коли вважати, що межа має форму поверхні (наприклад, циліндричну або сферичну) | 4 |
| 6 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Хвиля Лемба. Умови існування поверхневої хвилі Лемба. 2. Структурні моделі суміші пружних матеріалів. 3. Характеристики циліндричної поверхневої хвилі в залежності від того, увігнута чи опукла поверхня тіла. | 6 |
| 7 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Геометричний вигляд шаруватого матеріалу та відповідне обґрунтування Бедфорда-Штерна взаємодії зсувних сил. 2. Перехід від внутрішньої енергії двофазної суміші до відповідних | 4 |

| | | |
|----|---|---|
| | лінійних рівнянь. 3. Зсувні та інерційні механізми. | |
| 8 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Опрацювати той факт, що нові доданки у хвильових рівняннях четвертого, п'ятого та шостого наближень не залежать від пружних сталих Ламе. 2. Розібрати рівняння третього наближення для плоских поперечних хвиль 3. Застосування методів послідовних наближень і повільно змінних амплітуд до розв'язування нелінійних рівнянь | 6 |
| 9 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Прочитайте додаткову інформацію про збудження поздовжньої хвилі в матеріалі, та поперечної хвилі малої амплітуди. 2. Розглянути реальні матеріали, що демонструють сильну нелінійність | 4 |
| 10 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Ознайомтеся з додатковою інформацією про неможливість експериментально збудити в матеріалі тільки поздовжню хвилю, так як буде збуджена і поперечна хвиля малої амплітуди для простих пружних хвиль 2. Розгляньте і сформулюйте різницю між солітонами та поодинокими хвилями. 3. Прості пружні хвилі. Еволюція пружних хвиль для м'якої та жорсткої нелінійності. | 4 |
| 11 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Реологічні моделі, в яких моделі Фойгта або Максвелла послідовно з'єднані. Напишіть відповідні реологічні рівняння та прокоментуйте їх. 2. Співмірність релаксації за часами для реальних матеріалів. | 4 |
| 12 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Знайти принцип відповідності Вольтерра заснований на комутативності операцій у часі та в просторі координат. 2. Опрацювати наближеними виразами для дробово-експоненціальних ядер. 3. Ядра Дюфінга та Больцмана. | 4 |
| 13 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Теорія усереднених модулів у визначенні параметрів в'язкопружного деформування композиційних матеріалів. 2. Термопружні хвилі. Закон, що пов'язує тепловий потік і температурний градієнт. | 4 |
| 14 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Зв'язок між лініями Людерса та ідеальним пластичним потоком, який іноді розглядається як результат невеликого ковзання по поверхнях ковзання. 2. Квазіпоздовжні і квазіпоперечні плоскі хвилі. 3. Побудова поверхні текучості для найпростішої моделі Треска, враховуючи, що поверхня повинна знаходитись в просторі головних напружень і мати форму шестикутної призми. | 4 |
| 15 | Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення: 1. Одновісна та двовісна постановки задачі про поширення хвилі в | 4 |

| | | |
|----|---|---|
| | <p>стержнях.</p> <p>2. Визначення хвиль п'єзокристалів, п'єзокераміки, п'єзопорошків. Базова структурна модель п'єзопружних сумішей.</p> | |
| 16 | <p>Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:</p> <p>1. Магнітопружні хвилі, базова модель, випадки дійсної та ідеальної провідності, зв'язані системи рівнянь.</p> <p>2. Монопольний, дипольний і квадропольний моменти.</p> | 4 |

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Відвідування лекцій та практичних занять не оцінюється. Разом з тим аспірантам бажано відвідувати усі заняття, оскільки на них викладається теоретичний і практичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для розрахунків реальних об'єктів, складання заліку.

Пропущені заняття

Пропущені заняття мають бути відпрацьовані самостійно з використанням наявних навчальних матеріалів, а за необхідності – з консультацією викладача. Пропущені контрольні заходи мають бути виконані під час консультацій до моменту складання заліку.

Політика щодо академічної доброчесності

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.

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

Рейтингова система оцінювання включає всі види семестрових завдань: роботу на практичних заняттях, виконання модульної контрольної роботи, складання заліку. Кожний аспірант отримує свій підсумковий рейтинг з дисципліни.

Рейтинг аспіранта з дисципліни розраховується виходячи із 100-бальної шкали і складається з балів, які він отримує за:

- відповіді під час практичних занять;
- виконання модульної контрольної роботи;
- складання заліку.

Робота на практичних заняттях (10 балів)

Робота на практичних заняттях оцінюється за активністю студента під час заняття (усні відповіді, письмові або тестові завдання, участь у командних формах роботи). Вагові бали за окремі види діяльності та формат контролю (усний/ письмовий/ тестовий або комбінований) визначає викладач залежно від режиму навчання (онлайн/офлайн).

У разі виявлення порушень академічної доброчесності (несамостійне виконання завдань, використання заборонених джерел, імітація командної роботи) результат анулюється (0 балів).

Максимальний результат - 10 балів.

Модульна контрольна робота (МКР, 40 балів)

Модульна контрольна робота виконується в письмовому форматі та складається з двох частин.

МКР-1 «Хвилі у матеріалах»: ваговий бал – 20 балів;

МКР-2 «В'язко-, термо-, п'єзо- і магнітопружні хвилі»: ваговий бал – 20 балів;

Критерії оцінювання:

повна відповідь на всі завдання (більше 90% матеріалу) 18 – 20 балів;

неповна відповідь на завдання (від 50 до 90% матеріалу) 10 – 17 балів;

відповідь містить менше 50 % необхідної інформації 0 – 10 балів.

Відсутність на контрольній роботі – 0 балів.

Заборонене застосування ШІ, використання додаткових ресурсів та сторонньої допомоги.

У разі виявлення порушень академічної доброчесності, МКР-N анулюється (0 балів).

Максимальний результат МКР $20 \times 2 = 40$.

Заохочувальні бали

Заохочувальні бали нараховуються за активність на лекційних та практичних заняттях, удосконалення дидактичного матеріалу.

Максимальна кількість заохочувальних балів не перевищує 10% від стартового семестрового рейтингу (5 балів).

Форма семестрового контролю – диференційований залік

На заліку аспіранти виконують письмову залікову роботу. Кожен білет складається з 4 теоретичних питань та 1 практичного.

Ваговий бал кожного завдання – 10 балів.

Критерії оцінювання

«відмінно»: повна відповідь на всі завдання (не менше 90% потрібної інформації; повне, безпомилкове розв'язування завдань) 9 – 10 балів;

«добре»: достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) або є незначні неточності 7 – 8 балів;

«задовільно»: неповна відповідь на завдання (не менше 60%) та є помилки і певні недоліки 5 – 6 балів;

«незадовільно»: відповідь не відповідає умовам до «задовільно» (завдання не зроблено, неправильний метод розв'язування, завдання виконано зі значними помилками) 0 – 4 бали.

Заборонене застосування ІІІ, використання додаткових ресурсів та сторонньої допомоги. У разі виявлення порушень академічної доброчесності, залікова робота анулюється.

Максимальний результат заліку $10 \times 5 = 50$ балів.

Перескладання позитивної підсумкової семестрової атестації з метою її підвищення не допускається.

Розмір стартової шкали RC = 50 балів. Розмір залікової шкали RE = 50 балів.

Розмір шкали рейтингу R = RC + RE = 100 балів.

Аспірант допускається до заліку, якщо його стартовий рейтинг семестру не менше 30 балів ($RC \geq 30$), при цьому він повинен мати зараховані модульні контрольні роботи (виконано не менше, ніж на 60%).

Аспіранти, які в кінці навчального семестру мають стартовий рейтинг $RC < 20$ балів до заліку не допускаються і для отримання достатнього балу повинні виконати додаткові завдання до першого перескладання.

Аспіранти з рейтингом $20 \leq RC < 30$ мають можливість добрати бали до допускових, шляхом виконання допускової контрольної роботи на останньому тижні навчального семестру.

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 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