

# Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

## СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«АНАЛІТИЧНО-ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ З ТОНКИМ ПОКРИТТЯМ ТА АРМОВАНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ОБЧИСЛЕНЬ»

<b>Галузь знань</b>	<i>F Інформаційні технології</i>
<b>Спеціальність</b>	<i>F1 Прикладна математика</i>
<b>Освітня програма</b>	<i>Механіка деформівного твердого тіла і теоретична механіка</i>
<b>Освітній рівень</b>	<i>доктор філософії</i>
<b>Статус дисципліни</b>	<i>вибіркова</i>
<b>Мова викладання</b>	<i>Українська</i>
<b>Курс / семестр</b>	<i>2 курс, 3(4) семестр</i>
<b>Кількість кредитів ЄКТС</b>	<i>4 кредити ЄКТС</i>
<b>Розподіл за видами занять та годинами навчання</b>	<i>Лекції – 26 год.</i>
	<i>Практичні (семінарські) – 26 год.</i>
	<i>Самостійна робота – 68 год.</i>
<b>Форма підсумкового контролю</b>	<i>диф.залік</i>
<b>Відділ</b>	<i>обчислювальної механіки та техніки</i>
<b>Викладач (-і)</b>	<i>Декрет Володимир Анатолійович, провідний науковий співробітник, д. ф.-м. н. (<a href="mailto:dekret@ukr.net">dekret@ukr.net</a>);</i>
	<i>Кіпніс Олександр Леонідович, старший науковий співробітник, к. ф.-м. н. (<a href="mailto:a.l.kipnis@gmail.com">a.l.kipnis@gmail.com</a>).</i>
<b>Контактна інформація викладача (-ів)</b>	<i>e-mail: <a href="mailto:dekret@ukr.net">dekret@ukr.net</a>, <a href="mailto:a.l.kipnis@gmail.com">a.l.kipnis@gmail.com</a></i>
<b>Дні занять</b>	<i>За розкладом</i>
<b>Консультації</b>	<i>За домовленістю викладача з аспірантом оф-лайн або он-лайн</i>
<b><i>Програма навчальної дисципліни</i></b>	

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

**Обґрунтування необхідності вивчення:** Для фахівця з прикладної математики в галузі механіки критично важливо володіти методами дослідження стійкості та руйнування неоднорідних структур. Дисципліна охоплює як класичні задачі стійкості армованих композитів, так і сучасні проблеми матеріалів із тонким покриттям. Поєднання напіваналітичних методів із технологіями високопродуктивних обчислень дозволяє розв'язати складні задачі, що мають безпосереднє значення для авіабудування, космічної техніки та створення нових конструкційних матеріалів.

**Мета дисципліни:** Метою навчальної дисципліни є набуття знань та вмінь розв'язання комплексних проблем у галузі механіки деформівного твердого тіла шляхом здобуття аспірантами компетентностей, необхідних для виконання самостійних та оригінальних наукових досліджень, результати яких мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

**Предмет вивчення:** Математичні моделі стійкості та руйнування гіперпружних тіл із покриттям та армованих композитних матеріалів, напіваналітичні методи дослідження граничних задач, а також алгоритми високопродуктивних обчислень у розподілених середовищі.

**Програмні результати навчання:** В результаті вивчення дисципліни аспірант набуде такі компетентності та знання:

- **Знання:** концепцій неklasичних проблем механіки руйнування та стійкості; загальних розв'язків рівнянь тривимірної лінеаризованої теорії; методів чисельного дослідження задач на власні значення; технологій проведення високопродуктивних обчислень.
- **Уміння:** робити постановки задач для визначення критичних параметрів втрати стійкості; створювати розрахункові моделі для дослідження механізмів руйнування композитів при стисненні; застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення на основі паралельних алгоритмів.
- **Компетентності:**

*I. Загальні компетентності:*

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- Здатність до самостійної роботи, самонавчання та постійного розвитку.
- Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень українською та іноземними мовами.

*II. Спеціальні (фахові) компетентності:*

- Здатність формулювати наукові задачі в галузі механіки деформівного твердого тіла та механіки композитних і неоднорідних середовищ.
- Здатність до створення адекватних розрахункових моделей для розв'язання задач прикладної математики на основі наукових теорій.
- Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та спеціалізоване програмне забезпечення.
- Здатність до розробки нових алгоритмів розрахунку на базі сучасного математичного апарату.
- Здатність оцінювати достовірність одержаних результатів та застосовувати їх для формулювання практичних рекомендацій.

### *III. Програмні результати навчання:*

- Набуття глибинних знань з обраного напрямку досліджень; вміння генерувати нові ідеї, виконувати оригінальні дослідження та досягати наукових результатів, які створюють нові знання в обраному напрямі досліджень.
- Вміння проводити пошук наукової інформації та користуватися сучасними засобами зберігання, передачі і пошуку інформації, узагальнювати її та критично переосмислювати.
- Здатність аналізувати одержані результати і оцінювати їх достовірність та застосовувати результати теоретичних та розрахункових досліджень для формулювання рекомендацій при вирішенні практичних задач.
- Навик ефективно спілкуватись на професійному та соціальному рівнях.
- Формування системного наукового світогляду, 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 (вимоги до рівня підготовки):** Для успішного засвоєння дисципліни аспіранту необхідні знання та вміння, здобуті під час вивчення таких курсів:

- Механіка суцільних середовищ.
- Загальний курс теорії диференціальних рівнянь та математичної фізики.
- Чисельні методи та методи математичного моделювання.
- Обов'язкові курси освітньо-наукової програми, що вивчаються на першому курсі аспірантури.

**Постреквізити (дисципліни, що базуються на результатах навчання):** Знання та навички, отримані під час вивчення курсу, є основою для:

- Підготовки та написання дисертаційної роботи на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика».
- Проходження науково-дослідної практики аспіранта.
- Підготовки наукових публікацій у провідних фахових виданнях та виступів на міжнародних наукових конференціях.
- Виконання науково-технічних розробок у галузі структурної механіки матеріалів.

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

*Змістовний модуль 1. Теоретичне підґрунтя для дослідження задач руйнування композитів та матеріалів з покриттям на основі тривимірної теорії стійкості*

**Тема 1. Експериментальні результати та теоретичні передумови проблеми дослідження руйнування композитних матеріалів внаслідок втрати стійкості у їх структурі.** Експериментальні результати, що обґрунтовують можливість існування явища втрати стійкості у внутрішній структурі композитів при стисканні. Експериментальні результати щодо руйнування композитів при стисканні та наявності механізмів руйнування, пов'язаних із втратою стійкості у внутрішній структурі композиту. Експериментальне дослідження руйнування у вигляді зминанні торців при стисканні композитних матеріалів. Експериментальне обґрунтування моделі “волокон скінчених розмірів”. Загальна концепція теоретичних досліджень. Аналіз теоретичних результатів при наближеному підході. Достовірність результатів на основі теорії Дау-Грунфеста-Розена-Шурца. Обґрунтування застосування підходу на основі ТЛТСДТ.

**Тема 2. Напрямки дослідження проблеми руйнування композитів при стисканні на основі тривимірної теорії стійкості.** Внутрішнє і приповерхнєве руйнування для моделі однорідного анізотропного середовища с усередненими параметрами. Внутрішнє і приповерхнєве руйнування шаруватих та односпрямованих волокнистих композитів для моделі кусково-однорідного середовища. Внутрішнє і приповерхнєве руйнування композитів, армованих короткими волокнами при застосуванні моделі коротких волокон та шарів. Руйнування у вигляді зминання торців при стисканні композитних матеріалів для континуальної моделі та моделі кусково-однорідного середовища. Вплив неоднорідного докритичного стану, пов'язаного із крайовими ефектами біля завантаженої поверхні композиту та концентрацією напружень у околі коротких волокон.

**Тема 3. Результати з дослідження стійкості тонких плівок покриття на товстих підкладках при стиску вздовж інтерфейсу.** Практичне застосування та експериментальні результати для тонкопліткових бішарових систем при стиску. Гіперпружні матеріали: нелінійно-пружне деформування, конститутивні моделі, пружні потенціали конкретної структури. Модель кусково-однорідного середовища: граничні умови на межі поділу, міжфазні дефекти, умови контакту між берегами дефектів. Механізми втрати стійкості тонких плівок «wrinkling» і «buckling»: критичні деформації, балкові наближення на основі геометрично лінійних та нелінійних теорій, взаємодія механізмів відповідно до результатів числових та натурних експериментів. Обґрунтування застосування підходу на основі ТЛТСДТ.

**Тема 4. Основи тривимірної лінеаризованої теорії стійкості деформівних тіл (ТЛТСДТ) при малих та великих (скінчених) докритичних деформаціях.** Про становлення ТЛТСДТ. Класифікація підходів у ТЛТСДТ. Критерії стійкості у ТЛТСДТ та формулювання задач на власні значення. Загальне формулювання задач ТЛТСДТ для різних моделей тіл, що деформуються. Лінеаризовані співвідношення пружності, пружні потенціали для гіперпружних матеріалів. Достатні умови застосування статичного методу (методу Ейлера) дослідження стійкості. Достатні умови стійкості. Варіаційні принципи ТЛТСДТ. Загальні розв'язки задач ТЛТСДТ при однорідних докритичних станах. Результати дослідження окремих класів задач.

*Змістовний модуль 2. Дослідження задач механіки руйнування та стійкості матеріалів з використанням чисельних та напіваналітичних методів*

**Тема 5. Розв'язання задач теорії пружності та тривимірної стійкості композитів методом сіток.** Концепція базових різницевих схем. Загальні питання побудови сіткових рівнянь. Властивості дискретних задач. Дискретні задачі в декартових та криволінійних координатах. Послідовні алгоритми розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь та задач на власні значення для розріджених матриць (метод Холецького, метод градієнтного спуску, метод ітерування підпростору).

**Тема 6. Технологія проведення високопродуктивних обчислень при чисельному дослідженні стійкості та руйнування композитів.** Застосування паралельних та гібридних алгоритмів розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь та задач на власні значення для розріджених матриць великих розмірів (метод Холецького, метод ітерування підпростору). Технологія проведення високопродуктивних обчислень у розподіленому комп'ютерному середовищі із використанням обчислювальних ресурсів суперкомп'ютера. Дослідження спектру власних значень та форм втрати стійкості щодо їх відповідності взаємодіючим механізмам руйнування.

**Тема 7. Розрахункові моделі та результати чисельного дослідження докритичного стану у композитах при стисканні.** Неоднорідний докритичний стан, пов'язаний із крайовими ефектами біля завантаженої поверхні композиту та умовами закріплення зразків із шаруватих композитних матеріалів. Неоднорідний докритичний стан, пов'язаний із концентрацією напружень у околі коротких волокон. Неоднорідний докритичний стан, пов'язаний із наявністю міжшарових макротіщин;

**Тема 8. Розрахункові моделі та результати чисельного дослідження критичних параметрів стійкості композитів при стисканні.** Внутрішня та приповерхнева втрата стійкості у армованих композитних матеріалах, армованих неперервними компонентами при стисканні поверхневим навантаженням. Внутрішня та приповерхнева втрата стійкості у композитних матеріалах, армованих неперервними компонентами, за наявності міжфазних тріщин при стисканні поверхневим навантаженням. Взаємодія механізмів руйнування, пов'язаних із приповерхневою втратою стійкості та втратою стійкості матеріалу у околі міжфазних тріщин. Втрата стійкості у композитних матеріалах, армованих короткими волокнами, при стисканні вздовж напрямку армування (модель коротких волокон).

**Тема 9. Визначення та аналіз критичних параметрів втрати стійкості кусково-однорідних півобмежених тіл при стиску вздовж інтерфейсу.** Постановка задач ТЛТСДТ для тіл без дефектів та для тіл з міжфазними тріщинами та зонами проковзування. Використання загальних розв'язків лінеаризованих рівнянь рівноваги для формулювання граничних задач в термінах потенціальних гармонічних функцій. Задачі для бішарових систем без дефектів: випадок ідеального контакту та проковзування без тертя, трансцендентні рівняння для визначення критичних деформацій. Аналіз та валідація результатів; порівняння з результатами в межах балкових наближень. Задачі для бішарових систем з міжфазною тріщиною та міжфазною зоною проковзування: зведення до задачі для власні значення для інтегральних

рівняння Фредгольма. Числова реалізація методу Бубнова–Гальборкіна. Валідація результатів: задачі для однорідних тіл, асимптотичні поведінки критичних деформацій. Аналіз та порівняння результатів: дослідження застосовності балкових наближень, взаємодія різних механізмів втрати стійкості. Вплив структури пружних потенціалів матеріалів тіла на критичні параметри навантаження

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

*Основні рекомендовані джерела*

1. Alderliesten R.C. Fatigue and Fracture of Fibre Metal Laminates. Springer, 2017.
2. Bogdanov, V.L., Nazarenko, V.M., Kipnis, O.L. Compression of semibounded body with thin coating layer along interface near-surface crack. Part I // Int. Appl. Mech. – 2024. – 60, N 5. – P. 511–524.
3. Dekret V.A., Bystrov V.M., Zelenskiy V.S. Numerical Analysis of the Buckling of Near-surface Short Fibers in a Weakly Reinforced Composite Material // Int. Appl. Mech. – 2021. – 57, N 6. P. 687 – 699.
4. Dekret V.A., Zelenskii V.S., Bystrov V.M. Numerical Analysis of Stability of a Laminated Composite with Compressed Reinforcement Plies // Int. Appl. Mech. – 2015. – 51, N 5. – P. 561 – 566
5. Gibson R.F. Principles of Composite Material Mechanics. CRC Press, 2016.
6. Guz A.N. Nonclassical Problems of Fracture/Failure Mechanics: On the Occasion of the 50th Anniversary of Research (Review). II. // Int. Appl. Mech. – 2019. – 55, N 6. – P. 239–295.
7. Guz A.N. Stability of Elastic Bodies under Uniform Compression. Review. – 2012. – 48, N 3. – P. 241–293.
8. Guz A.N., Altenbach H., Bogdanov V., Nazarenko V.M. (eds) Advances in Mechanics: Current Research Results of the NAS of Ukraine. Advanced Structured Materials, vol 191. Springer, Cham. – 2023. – 560 p.
9. Guz, A.N., Bogdanov, V.L., Nazarenko, V.M. Fracture of Materials Under Compression Along Cracks. Advanced Structured Materials, Vol.138. Springer, 2020.
10. Kipnis, A.L. Wrinkling of hyperelastic thin film on hyperelastic semibounded substrate in cases of rigid connection and frictionless sliding of components // J. Elast. – 2025. – 157, N 1. – P. 40–50.
11. Mei, H., Landis, C.M., Huang, R. Concomitant wrinkling and buckle-delamination of elastic thin films on compliant substrates // Mech. Mater. – 2011. – 43, N 9. – P. 627–642.
12. Nikraves, S., Ryu, D., Shen, Y.L. Instabilities of thin films on a compliant substrate: Direct numerical simulations from surface wrinkling to global buckling // Sci. Rep. – 2020. – 10, N 5728. – P. 1–12.

*Додаткові рекомендовані джерела*

1. Bogdanov, V.L., Nazarenko, V.M., Kipnis, A.L. Compression of a semi-bounded body with a coating layer along the interface sliding zone // *Z. Angew. Math. Mech.* – 2024. – 105, N e202400799. – P. 1–10.
2. Bystrov V.M., Dekret V.A., Zelenskiy V.S. Edge Effect and Near-surface Buckling in a Composite Laminate under Imperfect Contact between Layers // *Int. Appl. Mech.* – 2022. – 58, N 6.
3. Cao, Y., Hutchinson, J.W. Wrinkling Phenomena in Neo-Hookean Film/Substrate Bilayers // *ASME. J. Appl. Mech.* – 2012. – 79(3), N 031019. – P. 1–9.
4. Guz A.N. Establishing the foundations of the mechanics of fracture of materials compressed along cracks (review) // *Int. Appl. Mech.* – 2014. – 50, N 1. – P. 1–57.
5. Guz A.N. *Mechanics of Elastic and Elastic–Plastic Fracture of Solids with Cracks.* Springer, 2014.
6. Guz, A.N., Dekret, V.A. Finite-Fiber Model in the Three-Dimensional Theory of Stability of Composites (Review) // *Int. Appl. Mech.* – 2016. – 52, N 1. – P. 3–77.
7. Khimich A.N., Dekret V.A., Popov A.V., Chistyakov A.V. Numerical Study of the Stability of Composite Materials on Computers of Hybrid Architecture // *Journal of Automation and Information Sciences.* – 2018 – 50, N 7. – P. 7–24.
8. Rosset, S., Shea, H.R. Flexible and stretchable electrodes for dielectric elastomer actuators // *Appl. Phys. A.* – 2013. – 110, N 2. – P. 281–307.
9. Суперкомп'ютер ІК НАН України / <http://icybcluster.org.ua/>

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

№	<i>Назва теми лекції та перелік основних питань</i>
1	<b>Лекція 1:</b> Експериментальні результати, що обґрунтовують можливість існування явища втрати стійкості у внутрішній структурі композитів при стисканні. Експериментальні результати щодо руйнування композитів при стисканні та наявності механізмів руйнування, пов'язаних із втратою стійкості у внутрішній структурі композиту. Експериментальне дослідження руйнування у вигляді зминання торців при стисканні композитних матеріалів. Експериментальне обґрунтування моделі “волокон скінчених розмірів”.
2	<b>Лекція 2.</b> Загальна концепція теоретичних досліджень. Обґрунтування застосування підходу на основі ТЛТСДТ
3	<b>Лекція 3:</b> Внутрішнє і приповерхнєве руйнування для моделі однорідного анізотропного середовища с усередненими параметрами. Внутрішнє і приповерхнєве руйнування шаруватих та односпрямованих волокнистих композитів для моделі кусково-однорідного середовища.
4	<b>Лекція 4.</b> Руйнування у вигляді зминання торців при стисканні композитних матеріалів для континуальної моделі та моделі кусково-однорідного середовища.

5	<b>Лекція 5:</b> Практичне застосування та експериментальні результати для тонкоплівкових бішарових систем при стиску. Гіперпружні матеріали: нелінійно-пружне деформування, конститутивні моделі, пружні потенціали конкретної структури. Модель кусково-однорідного середовища: граничні умови на межі поділу, міжфазні дефекти, умови контакту між берегами дефектів.
6	<b>Лекція 6.</b> Механізми втрати стійкості тонких плівок «wrinkling» і «buckling»: критичні деформації, балкові наближення на основі геометрично лінійних та нелінійних теорій, взаємодія механізмів відповідно до результатів числових та натурних експериментів. Обґрунтування застосування підходу на основі ТЛТСДТ
7	<b>Лекція 7:</b> Про становлення ТЛТСДТ. Класифікація підходів у ТЛТСДТ. Критерії стійкості у ТЛТСДТ та формулювання задач на власні значення. Достатні умови стійкості. Загальне формулювання задач ТЛТСДТ для різних моделей тіл, що деформуються. Лінеаризовані співвідношення пружності, пружні потенціали для гіперпружних матеріалів.
8	<b>Лекція 8.</b> Достатні умови застосування статичного методу (методу Ейлера) дослідження стійкості. Варіаційні принципи ТЛТСДТ. Загальні розв'язки задач ТЛТСДТ при однорідних докритичних станах. Результати дослідження окремих класів задач.
9	<b>Лекція 9:</b> Концепція базових різницевих схем. Загальні питання побудови сіткових рівнянь. Властивості дискретних задач. Дискретні задачі в декартових та криволінійних координатах. Послідовні алгоритми розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь та задач на власні значення для розріджених матриць (метод Холецкого, метод градієнтного спуску, метод ітерування підпростору).
10	<b>Лекція 10:</b> Застосування паралельних та гібридних алгоритмів розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь та задач на власні значення для розріджених матриць великих розмірів (метод Холецкого, метод ітерування підпростору). Технологія проведення високопродуктивних обчислень у розподіленому комп'ютерному середовищі із використання обчислювальних ресурсів суперкомп'ютера. Дослідження спектру власних значень та форм втрати стійкості щодо їх відповідності взаємодіючим механізмам руйнування.
11	<b>Лекція 11:</b> Неоднорідний докритичний стан, пов'язаний із крайовими ефектами біля навантаженої поверхні композиту та умовами закріплення зразків із шаруватих композитних матеріалів. Неоднорідний докритичний стан, пов'язаний із концентрацією напружень у околі коротких волокон.
12	<b>Лекція 12:</b> Внутрішня та приповерхнева втрата стійкості у армованих композитних матеріалах, армованих неперервними компонентами при стисканні поверхневим навантаженням. Взаємодія механізмів руйнування, пов'язаних із приповерхневою втратою стійкості та втратою стійкості матеріалу у околі міжфазних тріщин. Втрата стійкості у композитних матеріалах, армованих короткими волокнами, при стисканні вздовж напрямку армування (модель коротких волокон).
13	<b>Лекція 13:</b> Постановка задач ТЛТСДТ для тіл без дефектів та для тіл з міжфазними тріщинами та зонами проковзування, перехід до граничних задач в термінах потенціальних гармонічних функцій. Трансцендентні рівняння для визначення критичних деформацій в задачах для бішарів без дефектів. Задачі для бішарових систем з міжфазними дефектами: зведення до задачі для власні значення для інтегральних рівняння Фредгольма. Числова реалізація методу Бубнова–Гальоркіна.

## Практичні заняття

№	<i>Назва теми занять та перелік основних питань</i>
1	<b>Практичне заняття 1:</b> Аналіз характеру руйнування при зминанні торців зразків із композитних матеріалів та з'ясування можливого впливу умов їх закріплення та навантаження
2	<b>Практичне заняття 2.</b> Порівняльний аналіз результатів дослідження міцності волокнистого композиційного матеріалу, отриманих при застосуванні наближеного та строгого підходу на основі ТЛТСДТ
3	<b>Практичне заняття 3.</b> Геометрична інтерпретація задачі руйнування матеріалів при стисканні для випадку тривісного навантаження при використанні континуальної моделі.
4	<b>Практичне заняття 4.</b> Порівняльний аналіз руйнування при закріплених та незакріплених торцях
5	<b>Практичне заняття 5.</b> Загальна постановка задачі плоскої деформації про стиск кусково-однорідного півобмеженого тіла з компонентами, що проковзують, вздовж міжфазної тріщини
6	<b>Практичне заняття 6.</b> Аналіз критичних wrinkling- та buckling- на основі наближених балкових відходів. Комплексний наближений теоретичний підхід.
7	<b>Практичне заняття 7.</b> Отримання лінеаризованих рівнянь у переміщеннях для стисливих тіл.
8	<b>Практичне заняття 8.</b> Обчислення параметрів у представленні загальних рішень задач ТЛТСДТ для ізотропних та ортотропних стисливих лінійно пружних тіл.
9	<b>Практичне заняття 9.</b> Отримання базових систем рівнянь задач стійкості для другого варіанту теорії малих докритичних деформацій.
10	<b>Практичне заняття 10.</b> Проведення тестових розрахунків у розподіленому комп'ютерному середовищі із використанням обчислювальних ресурсів суперкомп'ютера
11	<b>Практичне заняття 11.</b> Аналіз неоднорідного докритичного стану, пов'язаного із граничними умовами на завантаженій поверхні зразка із композитного матеріалу.
12	<b>Практичне заняття 12.</b> Аналіз впливу геометричних параметрів структури композиту і макротріщин на проявлення механізмів руйнування, пов'язаних із приповерхневою втратою стійкості та втратою стійкості матеріалу у околі міжфазних тріщин.
13	<b>Практичне заняття 13.</b> Аналіз впливу механічних та геометричних параметрів на критичні параметри навантаження в задачах про стиск бішарових систем. Валідація та порівняння результатів. Дослідження застосовності балкових наближень.

### 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	1. Вивчення матеріалу лекції 1. 2. Опрацювання матеріалу який винесено на самостійне вивчення: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Аналіз теоретичних результатів, отриманих при застосуванні наближеного підходу.</li> </ul> Література: основна – 1, 5, 6, 8; додаткова – 5, 6	5
2	1. Вивчення матеріалу лекції 2. 2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:	5

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Достовірність результатів, отриманих на основі теорії Дау-Грунфеста-Розена-Шурца.</li> </ul> <p>Література: основна – 1, 5, 6, 8; додаткова – 5, 6</p>	
3	<p>1. Вивчення матеріалу лекції 3.</p> <p>2. Опрацювання матеріалу який винесено на самостійне вивчення:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Внутрішнє і приповерхнєве руйнування композитів, армованих короткими волокнами при застосуванні моделі коротких волокон та шарів.</li> </ul> <p>Література: основна – 7, 8; додаткова – 4, 5,.</p>	5
4	<p>1. Вивчення матеріалу лекції 4.</p> <p>2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Вплив неоднорідного докритичного стану, пов'язаного із крайовими ефектами біля завантаженої поверхні композиту та концентрацією напружень у околі коротких волокон.</li> </ul> <p>Література: основна – 7, 8; додаткова – 4, 5,.</p>	5
5	<p>1. Вивчення матеріалу лекції 5.</p> <p>2. Опрацювання матеріалу який винесено на самостійне вивчення:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Однопараметричні (потенціали Трелоара та Бартенсва–Хазановича) та двопараметричні (гармонічний та квадратичний потенціали) моделі гіперпружних матеріалів</li> </ul> <p>Література: основна – 10, 11, 12; додаткова – 3, 4, 8</p>	5
6	<p>1. Вивчення матеріалу лекції 6.</p> <p>2. Опрацювання матеріалу який винесено на самостійне вивчення:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Однопараметричні (потенціали Трелоара та Бартенсва–Хазановича) та двопараметричні (гармонічний та квадратичний потенціали) моделі гіперпружних матеріалів</li> </ul> <p>Література: основна – 10, 11, 12; додаткова – 3, 4, 8</p>	5
7	<p>1. Вивчення матеріалу лекції 7.</p> <p>2. Опрацювання матеріалу який винесено на самостійне вивчення:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Класифікація підходів у ТЛТСДТ (другий варіант теорії малих докритичних деформацій та теорія великих (скінчених) деформацій).</li> </ul> <p>Література: основна – 7, 8, 9; додаткова – 4, 5, 6</p>	5
8	<p>1. Вивчення матеріалу лекції 8</p> <p>2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Достатні умови стійкості.</li> </ul> <p>Література: основна – 7, 8, 9; додаткова – 4, 5, 6</p>	5
9	<p>1. Вивчення матеріалу лекції 9.</p> <p>2. Опрацювання матеріалу який винесено на самостійне вивчення:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Метод Холецького для розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР).</li> </ul>	5

	Література: основна – 3, 4; додаткова – 6, 9	
10	1. Вивчення матеріалу лекції 10. 2. Опрацювання матеріалу який винесено на самостійне вивчення: • Паралельний алгоритм методу Холецького для розв'язання СЛАР.  Література: основна – 3, 4; додаткова – 7, 9	5
11	Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції 11. 2. Опрацювання матеріалу який винесено на самостійне вивчення: • Неоднорідний докритичний стан, пов'язаний із наявністю міжшарових макротіщин.  Література: основна – 4; додаткова – 2.	6
12	1. Вивчення матеріалу лекції 12. 2. Опрацювання матеріалу який винесено на самостійне вивчення: • Внутрішня та приповерхнева втрата стійкості у композитних матеріалах, армованих неперервними компонентами, за наявністю міжфазних тріщин при стисканні поверхневим навантаженням.  Література: основна – 3; додаткова – 6	6
13	1. Вивчення матеріалу лекції 13. 2. Опрацювання матеріалу який винесено на самостійне вивчення: • Локальна втрати стійкості матеріалу біля тріщини при стиск вздовж неї однорідного обмеженого та напівобмеженого тіла. Плоскі та просторові задачі. Задачі для тіл з двома паралельними та періодичною системою паралельних тріщин.  Література: основна – 2, 9; додаткова – 1, 4	6

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- **Відвідування та формат:** Заняття проводяться у змішаному форматі (офлайн/онлайн) за домовленістю. Мінімально необхідна кількість учасників для проведення заняття — **50% складу групи**. Допускається гнучке перенесення або здвоєння занять за згодою викладача та аспірантів.
- **Поведінка на заняттях:** Очікується активна участь у обговореннях та підготовка доповідей за тематикою досліджень. Використання гаджетів заохочується виключно для пошуку наукової інформації та роботи з електронними джерелами.
- **Захист робіт та дедлайни:** Захист індивідуальних завдань відбувається у формі наукової дискусії. Політика дедлайнів є гнучкою; у разі пропуску заняття аспірант опрацьовує матеріал самостійно з наступним консультуванням.

- **Оцінювання:** Штрафні бали не застосовуються за умови вчасного інформування про затримку виконання завдань. Заохочувальні бали нараховуються за підготовку публікацій за темою дисципліни.
- **Академічна доброчесність:** Дотримання норм академічної етики є обов'язковим. Уся необхідна література наявна у викладача та надається аспірантам у цифровому або друкованому вигляді.

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

8.1 Рейтинг аспіранта другого року навчання з даної дисципліни формується на основі таких складових:

1. **Експрес-контроль (20 балів):** Проводиться 2–4 рази протягом семестру з метою перевірки якості аудиторної та самостійної роботи (усне опитування, письмові роботи тривалістю 10–30 хв. або короткі домашні завдання).
2. **Активна робота на практичних заняттях (20 балів):** Оцінюється активність у дискусіях, підготовка повідомлень та участь у розв'язанні прикладних задач.
3. **Модульні контрольні роботи (20 балів):** Виконання двох робіт (по 10 балів за кожну) за темами відповідних модулів.
4. **Залік (40 балів):** Підсумкова співбесіда за питаннями курсу в аудиторний час.

**Заохочувальні бали:** Представлення доповіді на науковій конференції, участь у семінарі або подання статті у фахове видання за тематикою курсу оцінюється додатково у 10 балів.

**Штрафні бали:** Відсутність на заняттях (лекціях або практичних) без поважних причин — мінус 2 бали за кожне пропущене заняття.

### 8.2 Розрахункова шкала рейтингу

Максимальна сумарна кількість балів протягом семестру складає:  $20 + 20 + 20 + 40 = 100$  балів.

Підсумковий рейтинг аспіранта (RD) розраховується з урахуванням семестрових результатів, а також заохочувальних та штрафних балів. Необхідною умовою допуску до заліку є позитивний результат з усіх форм поточної атестації. Аспіранти, які набрали протягом семестру сумарно менше 30 балів, зобов'язані підвищити свій рейтинг до встановленого мінімуму для отримання допуску до заліку

**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	<b>A</b>	відмінно
82-89	<b>B</b>	добре
74-81	<b>C</b>	
64-73	<b>D</b>	задовільно
60-63	<b>E</b>	
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання
0-34	<b>F</b>	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*