

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

Фізико-механічного інституту

ім. Г.В. Карпенка НАН України

академік НАН України

**Зіновій НАЗАРЧУК**

26 листопада 2024 р.



### Силабус

для вивчення дисципліни «**Метод скінченних елементів у механіці матеріалів**» для аспірантів, спеціальність 113 «Прикладна математика»  
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України.

**1. Іваницький Ярослав Лаврентійович, завідувач лабораторією, д.т.н., проф.**

Контактний телефон: (032) 2296544; Е-mail: [ivanytskii@gmail.com](mailto:ivanytskii@gmail.com)

*Наукові інтереси:* механіка деформівного твердого тіла; механіка руйнування.

**Чепіль Ольга Ярославівна, кандидат технічних наук, науковий співробітник, старший дослідник**

Контактний телефон: (032)2296374; Е-mail: [oljach0409@gmail.com](mailto:oljach0409@gmail.com)

*Наукові інтереси:* механіка деформівного твердого тіла; метод скінченних елементів; механіка руйнування.

**2. Назва, код дисципліни та кількість кредитів.**

«Метод скінченних елементів у механіці руйнування» спеціальність 113 «Прикладна математика», код: 113, кількість кредитів – 6.

**3. Місце проведення навчальної дисципліни та час.**

ФМІ НАН України (ГК, кім. 67, 35); відповідно до розкладу.

#### **4. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою).**

Дисципліна «Метод скінченних елементів у механіці руйнування» має міждисциплінарний характер. При її вивченні використовуються теоретичні концепції таких областей знань, як прикладна механіка та матеріалознавство, прикладна математика та інформаційні технології CAD/CAE систем, за допомогою яких обчислюються деформації конструкції, механічні напруження структурних компонентів, сили реакцій опорних елементів, функціональна стабільність елементів конструкції для її життєвого циклу. За структурно-логічною схемою програми підготовки доктора філософії дисципліна тісно пов'язана з іншими дисциплінами професійної підготовки та вибірковими дисциплінами. Аспірант отримує необхідні теоретичні знання та практичні навички для практичного застосування: – основних положень і висновків теорії прикладної механіки та математичного моделювання; – сучасних методів проектування та чисельних розрахунків машин і конструкцій; – використання інформаційних технологій і CAD/CAE систем у вирішенні конкретних технічних завдань. Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Метод скінченних елементів у механіці руйнування» можна використовувати у подальшому під час опанування навчальних дисциплін з вибіркового дисциплін освітньо-наукової програми «Прикладна математика» та безпосередньо при виконанні досліджень, передбачених тематикою дисертаційної роботи. Необхідні навички: 1) цілеспрямоване застосування базових знань в області прикладної математики та природничих наук в професійній діяльності; 2) уміння застосовувати сучасні інформаційні системи та методи розрахунку для оцінювання міцності та довговічності конструктивних елементів.

#### **5. Програма навчальної дисципліни.**

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

**Мета дисципліни.** Метою навчальної дисципліни «Метод скінченних елементів у механіці руйнування» є формування у аспірантів компетенцій та професійної здатності майбутньої самостійності фахової діяльності по практичному застосуванню сучасних методів та комп'ютерних технологій в чисельних розрахунках машин і конструкцій, з урахуванням нелінійного характеру деформування, накопичення пошкоджень матеріалів та деградації металів, інформаційних систем та технологій для дослідження динаміки, міцності та надійності машин і конструкцій. Результатом навчання є практичне застосування математичних методів та автоматизованих

програмних засобів для розв'язання задач науково-інженерного характеру на основі сучасних інформаційних CALS-технологій з використанням персональних комп'ютерів та програмного забезпечення задач прикладної механіки в універсальних CAD/CAM/CAE/PDM системах для геометричного моделювання та скінченно елементного аналізу машинобудівних конструкцій і машин та їх структурних елементів.

**Предмет дисципліни.** Вивчення дисципліни передбачає оволодіння наступними питаннями:

1. Застосування державних та галузевих стандартів при моделюванні та обчисленні конструкційних елементів.

2. Вивчення міжнародних форматів обміну технічною інформацією (STEP) та форматів обміну даних для геометричних моделей об'єктів дослідження (Parasolid, JGES).

3. Математичні моделі, обчислювальні методи та імітаційне моделювання фізичних процесів в прикладній математиці.

4. Проекційно-сіткові методи скінченних різниць та скінченних елементів та їх застосування в розв'язках задач прикладної механіки

5. Формулювання крайових та початково-крайових задач механіки суцільного середовища

6. Головні, натуральні та початкові граничні умови.

7. Чисельний експеримент. Вхідні та вихідні дані для розв'язків задач прикладної математики із застосуванням проекційно-сіткових методів.

8. Функціональне забезпечення комерційного програмного коду для проведення чисельних розв'язків задач конструкційної міцності та динаміки.

9. Застосування інформаційних технологій та алгоритмів чисельних розрахунків на міцність, жорсткість, стійкість конструкцій та функціональну надійність машин при термосилових навантаженнях різної фізичної природи в учбових версіях систем високого рівня ANSYS WB.

10. Валідація та верифікація даних імітаційного моделювання фізичних процесів в розв'язках задач прикладної математики.

**Програмні результати навчання:** За результатами вивчення навчальної дисципліни аспіранти мають опанувати визначення, основні принципи і методи проектування і розрахунку машин та конструкцій, 3D адитивних технологій, здобути практичні навички з використання єдиного інформаційного середовища проектування та інженерного аналізу і виготовлення елементів конструкцій складних технічних систем та їх експлуатації з використанням CALS-технологій, проекційно-сіткових методів для розв'язання прикладних задач, застосування CAD/CAE систем високого рівня для автоматизації виконання інженерних робіт, державних та галузевих

стандартів при проектуванні та оцінці несучої спроможності конструкцій.

**Знання:**

1. Основи прикладної математики;
2. Чисельні та аналітичні методи розрахунку міцності, жорсткості, стійкості та довговічності елементів конструкцій і машин;
3. Основні види термосилових і кінематичних навантажень конструкцій і машин та їх просторово-часові особливості;
4. Фізико-механічні властивості матеріалів;
5. Вимоги галузевих стандартів, що пред'являються при розробці виробів.

**Уміння :**

1. Аналізувати і розробляти структурні та кінематичні схеми роботи механізмів і машин;
2. Розробляти розрахункові схеми конструкцій для оцінки несучої здатності типових виробів;
3. Ідентифікувати фізико-механічні властивості матеріалів конструкцій для їх імітаційних моделей;
4. Вибирати раціональний вид апроксимації жорсткісних та інерційно-масових характеристик в імітаційній моделі конструкції;
5. Виконувати чисельні розрахунки на міцність, жорсткість, стійкість елементів конструкцій із застосуванням інформаційних технологій.

**6. Зміст навчальної дисципліни**

Програмні результати навчання, контрольні заходи та терміни виконання оголошуються аспірантам на першому занятті.

1. Вступ до методу скінченних елементів (МСЕ). Основні концепції МСЕ: поділ області, функції форм, інтегрування. Огляд застосувань у механіці матеріалів. Можливості програмного забезпечення Ansys 2024R2.

2. Інтерфейс і базова робота з Ansys. Огляд робочого середовища Ansys Workbench. Процес моделювання: передпроцесор, розрахунки, постпроцесор. Налаштування проектів.

3. Геометрія і попередня підготовка моделі. Створення та імпорт геометрії. Робота з параметричними моделями. Спрощення складних геометрій.

4. Теорія і дискретизація сітки. Типи елементів у МСЕ: 1D, 2D, 3D елементи. Вплив дискретизації на точність результатів. Генерація, контроль і оптимізація сітки в Ansys.

5. Механіка твердих тіл у МСЕ. Основи теорії напружень і деформацій.

Закон Гука для лінійно-еластичних матеріалів. Статичний аналіз.

6. Статичний структурний аналіз у Ansys. Визначення граничних умов і навантажень. Розрахунок напружень і деформацій. Аналіз напружено-деформованого стану.

7. Матеріальні моделі. Лінійно-еластичні, пластичні, в'язкопружні та інші моделі. Налаштування матеріальних властивостей у Ansys. Робота з анізотропними та композиційними матеріалами.

8. Аналіз контактів. Контактна взаємодія поверхонь. Типи контактів: жорсткі, ковзаючі, тертя. Налаштування контактів у Ansys.

9. Аналіз теплових процесів. Перенос тепла: провідність, конвекція, випромінювання. Теплові навантаження і температурно-залежні властивості. Зв'язок термальних і механічних процесів.

10. Динамічний аналіз. Власні частоти і форми коливань (модальний аналіз). Гармонічний та спектральний аналіз. Аналіз ударних навантажень.

11. Нелінійний аналіз. Геометрична та матеріальна нелінійність. Аналіз великих деформацій. Стратегії для розв'язання нелінійних задач в Ansys.

12. Моделювання руйнування матеріалів. Теорії і критерії руйнування. Аналіз тріщин і росту тріщин (методи Fracture Mechanics). Прогнозування довговічності матеріалів.

13. Оптимізація конструкцій. Методи топологічної оптимізації. Робота з параметричними дослідженнями. Автоматизація процесу оптимізації в Ansys.

14. Технології інтеграції та автоматизації. Використання скриптів Python і APDL. Інтеграція Ansys з іншими програмними продуктами. Автоматизація робочого процесу.

15. Практичні кейси та міждисциплінарні задачі. Моделювання реальних конструкцій і матеріалів. Розрахунки багатофізичних процесів.

## **7. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Базова література:**

1. Madenci E., Guven I. The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS®. – Springer, 2015. – 657 с. ISBN: 978-1489975508.

2. Moaveni S. Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS. – Pearson, 2014. – 912 с. ISBN: 978-0133840803.

3. MacDonald B.J. Practical Stress Analysis with Finite Elements. – Butterworth-Heinemann, 2011. – 256 с. ISBN: 978-1856176613.

4. Chen X., Liu Y. The Finite Element Method Using ANSYS®. – CRC Press, 2014. – 411 с. ISBN: 978-1466585681.

5. Thompson M.K., Thompson J.M. ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis. – Butterworth-Heinemann, 2017. – 468 с. ISBN: 978-0128129814.

6. Lee H.H. Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 2020. – SDC Publications, 2020. – 608 с. ISBN: 978-1630573101.
7. Logan D.L. A First Course in the Finite Element Method. – Cengage Learning, 2016. – 976 с. ISBN: 978-1305635111.
8. Cook R.D., Malkus D.S., Plesha M.E., Witt R.J. Concepts and Applications of Finite Element Analysis. – Wiley, 2007. – 744 с. ISBN: 978-0471356059.
9. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. – Butterworth-Heinemann, 2013. – 752 с. ISBN: 978-1856176330.
10. Lawrence K.L. ANSYS Tutorial Release 2020: Structural & Thermal Analysis. – SDC Publications, 2020. – 400 с. ISBN: 978-1630573347

#### **Додаткова література :**

1. Теорія коливань і стійкості руху. Підручник / Василенко М.В., Алексейчук О.М.- К.: Вища школа, 1993 – 655с
2. Опір матеріалів Підручник / Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. - К.: Вища школа, 2008.- 655с
3. Теорія пружності . Частина 1. Підручник / Бабенко А.Є., Бобир М.І., Бойко С.Л., Боронко О.О.- Основа, 2009.- 244с

#### **8. Контроль знань**

В основі методів контролю знань використовують поточне індивідуальне опитування та екзаменаційну оцінку.

<b>Максимальна оцінка в балах</b>				
<b>Поточний контроль (ПК)</b>		<b>Екзаменаційний контроль</b>		<b>Разом за дисципліну</b>
Захист звітів про виконання лабораторних (30 балів) та практичних (20 балів) робіт шляхом усного опитування або тестового контролю теоретичного матеріалу.	<b>Разом за ПК</b>	<b>письмова компонента</b>	<b>усна компонента</b>	
	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>10</b>	<b>100</b>

#### **Порядок та критерії виставлення балів та оцінок**

Критерії оцінювання знань та вмінь аспіранта за результатами вивчення навчального матеріалу модуля у 100-бальній шкалі та шкалі ECTS:

- 100–88 балів – оцінка А («відмінно») виставляється за високий рівень знань (допускаються деякі неточності) навчального матеріалу, що міститься в основних і додаткових рекомендованих літературних джерелах, вміння аналізувати явища, які

вивчаються, у їхньому взаємозв'язку і розвитку, чітко, лаконічно, логічно, послідовно відповідати на поставлені запитання, вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;

- 87–80 балів – оцінка В («дуже добре») виставляється за знання навчального матеріалу вище від середнього рівня, включаючи розрахунки, аргументовані відповіді на поставлені запитання (можлива невелика кількість неточностей), вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;

- 79–71 бал – оцінка С («добре») виставляється за загалом правильне розуміння навчального матеріалу модуля, включаючи розрахунки, аргументовані відповіді на поставлені запитання, які, однак, містять певні (неістотні) недоліки, за вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;

- 70–61 бал – оцінка D («посередньо») виставляється за посередні знання навчального матеріалу модуля, мало аргументовані відповіді, слабке застосування теоретичних положень під час розв'язання практичних задач;

- 60–50 балів – оцінка E («задовільно») виставляється за слабкі знання навчального матеріалу модуля, неточні або мало аргументовані відповіді, з порушенням послідовності викладення, за слабке застосування теоретичних положень під час розв'язання практичних задач;

- 49–0 балів – оцінка F виставляється за незнання значної частини навчального матеріалу, істотні помилки у відповідях на запитання, невміння орієнтуватися під час розв'язання практичних задач, незнання основних фундаментальних положень. Методика розподілу та нарахування балів здобувачам вищої освіти регламентована

**ПОГОДЖЕНО**

Завідувачка випускової кафедри

проф. д.т.н.,

**Оксана ГЕМБАРА**