



## Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни



# Спецглави механіки суцільних середовищ

Шифр та назва спеціальності  
113 – Прикладна математика

Інститут  
ННІ Комп'ютерного моделювання, прикладної фізики та математики

Освітня програма  
Комп'ютерне та математичне моделювання

Кафедра  
Математичне моделювання та інтелектуальні обчислення в інженерії (161)

Рівень освіти  
Магістр-науковець (1 рік 9 місяців)

Тип дисципліни  
Науково-професійна, вибіркова

Семестр  
3

Мова викладання  
Українська

## Викладачі, розробники



**Федоров Віктор Олександрович** (відповідальний лектор)

[Victor.Fedorov@khi.edu.ua](mailto:Victor.Fedorov@khi.edu.ua)

Кандидат технічних наук, доцент

Автор більш як 40 наукових публікацій, основні курси «Обчислювальні методи», «Теорія плинності та міцності», «Математичні моделі композиційних матеріалів»

Google Scholar:

<https://scholar.google.com/citations?user=xozYUyIAAAAJ&hl=uk>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56495691400>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4814-6768>

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

## Загальна інформація

### Анотація

Циклічна пластичність — мультидисциплінарна сфера дослідження. Вона спирається на знання у таких сферах, як матеріалознавство; механіка твердого тіла, прикладна математика, обчислювальна механіка; проектування та виготовлення деталей/компонентів. Циклічна пластичність має широкий спектр застосувань, оскільки багато виготовлених компонентів неминуче піддаються циклічним навантаженням протягом свого терміну служби..

### Мета та цілі дисципліни

Метою вивчення дисципліни є надбання здатності досліджувати напружено-деформований стан (НДС) композиційних елементів конструкцій та передбачати можливе їх руйнування з урахуванням їх анізотропії та неоднорідності.

Цілі: засвоєння знань з теоретичних основ механіки анізотропних та неоднорідних матеріалів та елементів конструкцій, формулювання їх математичних моделей та вміння застосувати їх для дослідження НДС та умов руйнування композиційних елементів конструкцій.

## **Формат занять**

Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації, розрахункова робота. Підсумковий контроль – залік.

## **Компетентності**

ЗК3. Здатність оволодівати сучасними знаннями, формулювати та вирішувати проблеми.

ЗК7. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

СК1. Здатність розв'язувати задачі й проблеми, які можуть бути формалізовані, потребують оновлення й інтеграції знань, зокрема в умовах неповної інформації.

СК2. Здатність проводити наукові дослідження з розробки нових та адаптації існуючих математичних та комп'ютерних моделей для дослідження різноманітних процесів, явищ і систем, здійснювати відповідні експерименти та аналізувати одержані результати.

СК3. Здатність розробляти методи й алгоритми побудови, дослідження та програмної реалізації математичних моделей у техніці, фізиці, біології, медицині та інших галузях та здійснювати їх аналіз.

СК4. Здатність розробляти та досліджувати математичні та комп'ютерні моделі, проводити обчислювальний експеримент та розв'язувати формалізовані задачі за допомогою спеціалізованих програмних засобів.

СК9. Здатність математично формалізувати постановку наукових та практичних задач, обирати математичний аналітичний або чисельний метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату.

СК11. Здатність до математичного опису різноманітних динамічних процесів, що можуть відбуватись в системах об'єктів проектування.

СК12. Здатність виявляти сутність науково-технічних проблем в професійній діяльності, застосовувати відповідні математичні моделі для дослідження механічних об'єктів та процесів.

## **Результати навчання**

РН4. Будувати математичні моделі складних систем і вибирати методи їх дослідження, реалізовувати побудовані моделі програмно та перевіряти їх адекватність за допомогою комп'ютерних технологій.

РН11. Володіти навичками абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

РН14. Мати знання математично формалізувати постановку наукових та практичних задач, обирати математичний аналітичний або чисельний метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату.

## **Обсяг дисципліни**

Загальний обсяг курсу – 150 годин (5 кредитів ECTS): лекції – 32 години, практичні заняття – 32 години, самостійна робота – 86 години.

## **Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)**

Студент має володіти знаннями та вміннями у теорії пружності та теорії пластичності, науково-дослідної роботи (НП4), нелінійних процесах та моделях (СП2) моделюванні в САЕ системах (СП3), дисципліні за профільним спрямуванням «Механіка деформівного твердого тіла (ВВП1)».

## **Особливості дисципліни, методи та технології навчання**

Викладення теоретичного матеріалу на лекціях доповнюється лабораторними заняттями, на яких студенти розв'язують практичні задачі доступними їм обчислювальними засобами. Результати оформлюються у вигляді звітів, які мають містити умови задачі, її математичну модель, послідовність розрахунків і результати в числовому та (або) графічному вигляді. Всі дії мають супроводжуватися короткими коментарями. Відповідна робота зараховується після короткого опитування за цією темою.

## Програма навчальної дисципліни

### Теми лекційних занять

**Тема 1. Вступ. Експериментальні спостереження при циклічному навантаженні металів**  
Феномен Баушингера. Циклічне зміцнення/розм'якшення. Еволюція реакції середнього напруження/деформації. Залежність від напрямку.

**Тема 2. Основи циклічних моделей пластичності**

Стани напруження і деформації. Співвідношення напруження–деформація. Правила зміцнення.

**Тема 3. Багатоповерхнева циклічна пластичність**

Загальна основа для малих деформацій на основі накопиченої енергії та швидкості пружного коректора. Накладені та вкладені моделі поверхонь. Модель  $M\dot{\sigma}$ . Правило трансляції для неявної реалізації моделі  $M\dot{\sigma}$ . Багатоповерхнева модель з використанням правила трансляції Прагера. Зв'язок з моделями донавантаження та обмежувальної поверхні. Моделі на основі реології без явного зворотного напруження. Порівняння багатоповерхневих моделей для багатовісної циклічної поведінки. Формулювання великих деформацій моделей Бесселінга

**Тема 4. Двоповерхнева циклічна пластичність**

Основи двоповерхневої пластичності. Розвиток двоповерхневої пластичності. Загальна оцінка та сучасні тенденції.

**Тема 5. Нелінійна кінематична зміцнювальна циклічна пластичність**

Кінематичні моделі зміцнення. Правила кінематичної зміцнення в поєднанні з впливовими описами.

**Тема 6. Циклічна пластичність деформаційного зміцнення**

Експериментальне вимірювання спотворення поверхні текучості. Моделювання деформації поверхні текучості. Чисельне моделювання та демонстрації.

**Тема 7. Обчислювальні методи циклічної пластичності**

Термомеханічна основа. Варіаційні принципи. Алгоритми конститутивного оновлення. Принцип мінімуму для потенціалу дисипації. Генералізована та ендохонна пластичність.

**Тема 8. Циклічна пластичність, застосована до аналізу надрізу металів**

Напружені стани на вершині надрізу. Правило Нейбера. Правило еквівалентної щільності енергії деформації (ЕЩЕД). Надрізи при одновісних циклічних навантаженнях. Надрізи при багатоосьовому циклічному навантаженні. Розширення аналізу надрізів на асиметричні/анізотропні метали.

**Тема 9. Застосування циклічної пластичності для моделювання храповика в металах**

Особливості еволюції храповика. Циклічні пластичні моделі храпового механізму. Храповий механізм компонентів конструкції та його вплив на втомне руйнування.

**Тема 10. Застосування циклічної пластичності для моделювання втоми**

Розуміння фізичного пошкодження через втому. Моделі втомних пошкоджень. Застосування циклічної пластичності.

### Теми практичних занять

Тема 1. Феномен Баушингера

Тема 2. Циклічні моделі пластичності

Тема 3. Багатоповерхнева та двоповерхнева циклічна пластичність

Тема 4. Нелінійна кінематична зміцнювальна циклічна пластичність

Тема 5. Циклічна пластичність деформаційного зміцнення

Тема 6. Обчислювальні методи циклічної пластичності

Тема 7. Циклічна пластичність, застосована до аналізу надрізу металів

Тема 8. Застосування циклічної пластичності для моделювання храповика в металах

Тема 9. Застосування циклічної пластичності для моделювання втоми

### Самостійна робота складається з наступних компонентів

Опрацювання лекційного матеріалу.

Підготовка до лабораторних занять.

Самостійне вивчення тем та питань, які не викладаються на лекційних заняттях.

Виконання індивідуальних розрахункових робіт.

## Література та навчальні матеріали

1. Jahed H., Roostaei A. A. Cyclic Plasticity of Metals. Modeling Fundamentals and Applications. Elsevier, 2022. 447 p.
2. Можаровський М. С. Теорія пружності, пластичності і повзучості: підручник / М. С. Можаровський. – Київ : Вища школа, 2002. – 308 с.
3. Писаренко Г. С. Опір матеріалів; підручник / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський. – Київ : Вища школа, 1993. – 655 с.
4. Божидарник В. В. Елементи теорії пластичності та міцності. Т. 1. / В. В. Божидарник, В. В. Сулим. – Львів : Світ, 1999. – 532 с.
5. Лебедєв А. О. Механіка матеріалів для інженерів: навчальний посібник / А. О. Лебедєв, М. І. Бобир, В. П. Ламашевський. – Київ : НТУУ «КПІ», 2006. – 288 с.
6. Механіка матеріалів: навчальний посібник / Чаусов М. Г., Пилипенко А. П., Куценко А. Г., Бондар М. М. – Ніжин : ТОВ «Видавництво «АспектПоліграф»», 2018. – 560 с.
7. Fedorov V. Theory and methods of constructing equations for the evolutionary damageability of materials. International Journal of Damage Mechanics. 2023, Vol. 32, Iss. 10, pp. 1144–1163. DOI: 10.1177/10567895231191149.

## Система оцінювання

### Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

Своєчасне та успішне виконання та складання кожної з дев'яти задач оцінюється у 10 балів. Результати опитування з теоретичних знань оцінюються у 10 балів, що в сумі може дати 100 балів.

### Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

## Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

## Погодження

Силабус погоджено

Дата погодження  
30.08.2023

Завідувач кафедри  
Олексій ВОДКА

Дата погодження  
30.08.2023

Гарант ОНП (1 рік 9 місяців)  
Генадій МАРТИНЕНКО