



МЕХАНІКА РУЙНУВАННЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Динаміка і міцність машин</i>
Статус дисципліни	<i>Вибірковий освітній компонент професійної підготовки</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>IV курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>Загальний обсяг 4 кредити (120 год.: 36 год. – лекції, 18 год. – практичні заняття, 66 год. – самостійна робота)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Семестровий контроль – залік / контрольні заходи: експрес контрольні роботи, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>Одна лекція на тиждень, одне практичне заняття на 2 тижні згідно розкладу rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лекції, практичні заняття: к.т.н., доцент, Онищенко Євген Євгенович, 050 330-3409, eonisbox@gmail.com</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Вивчення дисципліни «Механіка руйнування» дозволить майбутньому фахівцю при здійсненні професійної інженерної діяльності в галузі в галузі проектування, виробництва та експлуатації технічних систем, машин і устаткування, робото- технічних засобів та комплексів, розробки технологій машинобудівних виробництв розв'язувати питання пов'язані з міцністю конструкцій, машин, устаткування, механічних і біомеханічних систем та комплексів за наявності в них тріщин або тріщиноподібних дефектів.

Майбутній фахівець набуде:

знання термінології, понять, гіпотез, припущень, обмежень, властивостей, закономірностей, законів, методів розрахунку та експериментального визначення окремих величин, порядку здійснення розрахунків на міцність деталей машин та елементів конструкцій з тріщинами;

уміння і навички аналізувати форму деталей машин та елементів конструкцій, розраховувати поточні значення енергетичних, силових та деформаційних параметрів руйнування, обирати та застосовувати відповідні критерії руйнування, визначати допустимі навантаження, критичні розміри тріщин, швидкість росту тріщин при циклічному навантаженні.

Вивчення цієї дисципліни підсилює та доповнює у майбутнього фахівця необхідні компетентності, зокрема фахові компетентності:

Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки (ФК1);

Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкцій і процесів, в тому числі і за наявності деякої невизначеності. (ФК2);

Здатність використовувати аналітичні та чисельні математичні методи для вирішення задач прикладної механіки, зокрема здійснювати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість в процесі статичного та динамічного навантаження з метою оцінки надійності деталей і конструкцій машин. (ФК5).

У результаті вивчення дисципліни студент зможе:

виконувати розрахунки на міцність деталей машин та елементів конструкцій за наявності в них тріщин або тріщиноподібних дефектів, розробляти шляхи підвищення їх тріщиностійкості.

Рівень сформованості зазначених результатів буде достатнім для вирішення завдань професійної діяльності, пов'язаних із забезпеченням міцності деталей машин і елементів конструкцій за наявності в них тріщин або тріщиноподібних дефектів..

2. .Пререквізити та постреквізити дисципліни

Для успішного засвоєння даної дисципліни студент має вивчити дисципліни «Теорія пружності» і «Теорія пластичності та повзучості».

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. ВСТУП

Тема 1. Предмет і задачі механіки руйнування

Тема 2. Загальні поняття

РОЗДІЛ 2. ЗАДАЧІ І МЕТОДИ ЛІНІЙНОЇ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

Тема 3. Критерій руйнування Гріффітса

Тема 4. Силовий критерій руйнування.

Тема 5. Визначення коефіцієнта інтенсивності напружень для тіл скінчених розмірів

Тема 6. Пластична зона при вершині тріщини

Тема 7. Методика експериментального визначення тріщиностійкості конструкційних матеріалів.

Тема 8. Оцінка міцності тіл з тріщинами в умовах плоского напруженого стану.

РОЗДІЛ 3. ЗАДАЧІ І МЕТОДИ НЕЛІНІЙНОЇ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

Тема 9. J-інтеграл

Тема 10. Розкриття вершини тріщини

Тема 11. Зв'язки між параметрами руйнування

РОЗДІЛ 3. ВТОМНЕ РУЙНУВАННЯ

Тема 12. Оцінка довговічності за числом циклів повторно-змінного навантаження на стадії зростання тріщини

Навчальні. матеріали та ресурси

Література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни.

Базова :

1. *Механіка руйнування: підручник* / О. М. Долгов ; Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» . – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка» , 2019. – 166 с.

<https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/1c0c0845-6115-4df8-88ec-bd64ba60c374/content>

2. *Опір матеріалів: Підручник* / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; За ред. Г.С. Писаренка. - К.: Вища шк., 2004. - 655 с.

http://mmi-dmm.kpi.ua/images/pdf/Opir_mat_Pisarenko.pdf

3. *Fracture Mechanics: An Engineering Primer/* Janssen, M., Zuidema, J., & Wanhill, R. J. H./ TU Delft OPEN Publishing 2024. -365 с.

https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/176937641/Fracture_Mechanics.pdf

4. *Основи механіки руйнування: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напр. підгот. "Інженерне матеріалознавство"* / В.С. Майборода [та ін.] ; Мін-во освіти і науки України, НТУУ "КПІ". - Київ : НТУУ "КПІ", 2010. - 124 с.

https://opac.kpi.ua/F/NI8XH17QG7MJ56RHIXMMBB1YUGR7TPPV6B1733DLIQM39XTI5C-37677?func=full-set-set&set_number=000315&set_entry=000001&format=999

5. *Elementary engineering fracture mechanics/* David_Broek 1982. - 468 с.

http://nguyen.hong.hai.free.fr/EBOOKS/SCIENCE%20AND%20ENGINEERING/MECANIQUE/ENDOMAGEMENT-RUPTURE/Elementary-engineering_fracture_mechanics-David_Broek.pdf

Допоміжна:

1. *Механіка руйнування. Спецкурс: навчальний посібник* / О.О.Шкриль. – Київ: КНУБА, 2020. – 103 с.

https://opac.kpi.ua/F/NI8XH17QG7MJ56RHIXMMBB1YUGR7TPPV6B1733DLIQM39XTI5C-35134?func=full-set-set&set_number=000314&set_entry=000001&format=037

2. *Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие* / Под общ. ред. Панасюка В.В. / Т.1: Основы механики разрушения. — Киев: Наук. думка, 1988. — 488 с.

https://opac.kpi.ua/F/NI8XH17QG7MJ56RHIXMMBB1YUGR7TPPV6B1733DLIQM39XTI5C-42290?func=full-set-set&set_number=000332&set_entry=000002&format=999

3. *Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие* / Под общ. ред. Панасюка В.В. / Т. 2: Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещиной. — Киев: Наук. думка, 1988. 488 с.

https://opac.kpi.ua/F/NI8XH17QG7MJ56RHIXMMBB1YUGR7TPPV6B1733DLIQM39XTI5C-42290?func=full-set-set&set_number=000332&set_entry=000002&format=999

4. *Прикладна механіка руйнування: Підручник для вищ. навч. закл.* / О. Корнилов. - Київ, 1999. - 175 с.

https://opac.kpi.ua/F/BFCKMLCD5VFX65U6XYY1472SKINH5NFQQ8K1FQDQGP9JNUQJGV-04274?func=full-set-set&set_number=004849&set_entry=000002&format=999

Навчальний контент

4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Назви розділів і тем	Всього	Кількість аудиторних годин			Самостійна робота, годин
		Лекції	Практичні заняття	Лабораторні заняття	
Тема 1. Предмет і задачі механіки руйнування	2	2			

Тема 2. Загальні поняття	5	2	1		2
Тема 3. Критерій руйнування Гріффітса	9	4	1		4
Тема 4. Силовий критерій руйнування	12	4	2		6
Тема 5. Визначення коефіцієнта інтенсивності напружень для тіл скінчених розмірів	9	2	1		6
Тема 6. Пластична зона при вершині тріщини	7	2	1		4
Тема 7. Методика експериментального визначення тріщиностійкості конструкційних матеріалів	8	2	2		4
Тема 8. Оцінка міцності тіл з тріщинами в умовах плоского напруженого стану	15	4	3		8
Тема 9. J-інтеграл	18	8	4		6
Тема 10. Розкриття вершини тріщини	7	2	1		4
Тема 11. Зв'язки між параметрами руйнування	5	2	1		2
Тема 12. Оцінка довговічності за числом циклів повторно-змінного навантаження на стадії зростання тріщини	7	2	1		4
Модульна контрольна робота	8				8
Експрес контрольні роботи	8				8
Всього годин	120	36	18		66

№	Тема лекційних занять
1	Вступ. Міцність і руйнування. Історія розвитку науки про руйнування. Предмет і задачі механіки руйнування.
2	Загальні поняття. Повне і часткове руйнування. Крихке і пластичне (в'язке) руйнування. Квазікрихке руйнування. Руйнування від втоми. Особливе практичне значення вивчення крихкого руйнування. Тріщини типу I, II і III.
3	Задачі і методи лінійної механіки руйнування. Стійка і нестійка рівновага тіла з тріщиною. Густина поверхневої енергії. Потенційна енергія деформації пластини з центральною тріщиною. Критерій руйнування Гріффітса.
4	Переваги і недоліки критерія Гріффітса. Застосування критерія руйнування Гріффітса для пластичних матеріалів (концепція Гріффітса-Орована-Ірвіна).
5	Поля напружень і переміщень в околі вершини тріщини.
6	Коефіцієнт інтенсивності напружень (K _{ІН}), одиниці вимірювань. Силовий критерій руйнування Ірвіна. Еквівалентність силового критерія Ірвіна і критерія Гріффітса.
7	Визначення K _{ІН} для тіл скінчених розмірів. Поправочні коефіцієнти, K-тарировка. Аналітичні методи. Експериментальні методи. Визначення K _{ІН} методом скінчених елементів.
8	Пластична зона при вершині тріщини. Поправка Ірвіна на пластичність. Форма зони пластичності в умовах плоского напруженого стану і плоскої деформації. Коефіцієнт обмеження на пластичність.

9	Методика експериментального визначення тріщиностійкості конструкційних матеріалів. Критичні значення K_{IH} , тріщиностійкість матеріалу. Стандартні зразки. Розмірні вимоги до зразків. Режим вирощування тріщини. Вимірювані величини.
10	Оцінка міцності тіл з тріщинами в умовах плоского напруженого стану. Повільне стійке підростання тріщини до критичних розмірів. Залежність руйнівного напруження тонкої пластини (залишкової міцності) від розмірів пластини і довжини тріщини. Докритична діаграма руйнування. Метод Феддерсена побудови кривої залишкової міцності.
11	Концепція R-кривих. Модель Андерсона впливу товщини на процес руйнування. Випробовування при плоскому напруженому стані.
12	J-інтеграл. Визначення J-інтеграла Черепанова-Райса. Незалежність J-інтеграла від шляху інтегрування.
13	Визначення напружень і деформацій в околі вершини тріщини за допомогою J-інтеграла. Рішення Хатчинсона-Райса-Розенгрена (HRR-розв'язок).
14	Використання J-інтеграла у якості параметра руйнування. Визначення поточних значень J-інтеграла методами Біглі-Лендеса, Буччі, Райса.
15	Визначення поточних значень J-інтеграла методом скінчених елементів.
16	Розкриття вершини тріщини. Використання розкриття вершини тріщини у якості деформаційного параметра руйнування. Визначення поточних значень розкриття вершини тріщини: модель Дагдейла-Баренблатта, метод скінчених елементів.
17	Зв'язки між параметрами руйнування. Лінійно-пружне тіло і маломасштабна текучість. Повномасштабна текучість.
18	Втомне руйнування. Стадії зародження і зростання тріщини. Оцінка довговічності за числом циклів повторно-змінного навантаження на стадії зростання тріщини. Формула Періса. Модифікація формули Періса для врахування асиметрії циклу навантаження. Порядок розрахунку на довговічність за кількістю циклів у зв'язку зі зростанням тріщини.

№	Техи практичних занять *
1	Розв'язання задач Інгліса і Вестергаарда
2	Обчислення потенційної енергії деформації пластини з центральною тріщиною
3	Розв'язання задач руйнування тіл з тріщинами з використанням критерія Гріффітса. Обчислення питомої роботи руйнування для ДКБ зразка. Визначення напружень в околі вершини тріщини типу II і III
4	Розв'язання задач руйнування з використанням силового критерія Ірвіна. Розрахунок K-тарировки аналітичними методами
5	Побудова форми зон пластичності в умовах плоского напруженого стану і плоскої деформації. Обчислення коефіцієнтів обмеження на пластичність.
6	Обчислення тріщиностійкості матеріалу за експериментальними даними випробовування стандартних зразків. Перевірка виконання розмірних вимог до зразків і режиму вирощування тріщини.
7	Визначення критичних навантажень пластини з тріщиною з використанням R-кривих. Побудова кривих залишкової міцності методом Феддерсена.

8	<i>Розв'язання задач руйнування тіл з тріщинами з використанням критеріїв нелінійної механіки руйнування. Обчислення J-інтеграла Райса методом Біглі-Лендеса, Буччі, Райса. Визначення розкриття вершини тріщини за моделлю на основі центра повороту</i>
9	<i>Розрахунки на довговічність за кількістю циклів навантаження у зв'язку зі зростанням тріщини з використанням формули Періса.</i>

* **Практичне заняття** – вид навчального заняття, на якому студенти під керівництвом викладача шляхом виконання певних відповідно сформульованих завдань закріплюють теоретичні положення навчальної дисципліни і набувають уміння та досвід їх практичного застосування.

5. Самостійна робота здобувача вищої освіти

№	Види самостійної роботи	Кількість годин
1	<i>Підготовка до лекцій і практичних занять</i>	34
2	<i>Підготовка до виконання модульної контрольної роботи (у двох частинах)</i>	16
3	<i>Підготовка до виконання експрес контрольних робіт</i>	16

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Здобувачі вищої освіти КПІ ім. Ігоря Сікорського зобов'язані відвідувати навчальні заняття та контрольні заходи передбачені графіком освітнього процесу, виконувати вимоги навчального плану в терміни, визначені графіком освітнього процесу.

Правила поведінки на заняттях

Правила поведінки на заняттях здобувачів вищої освіти визначені у розділі 9 Правил внутрішнього розпорядку Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" https://kpi.ua/admin-rule#_Тос496697239. На практичних заняттях можливо використовувати засоби зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті тощо.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Призначення заохочувальних та штрафних балів не передбачається

Політика дедлайнів та перескладань

Модульна контрольна робота, експрес контрольна робота, яка подається на перевірку з порушенням терміну виконання не оцінюються. Роботи не написані або не подані на перевірку або подані на перевірку з порушенням терміну виконання або за якими отримана незадовільна оцінка не переписуються.

Норми етичної поведінки та політика академічної доброчесності

Норми етичної поведінки та політика і принципи академічної доброчесності визначені у розділах 2,3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Навчання іноземною мовою

Навчальна дисципліна «Механіка руйнування» не передбачає її викладання іноземною

мовою.

Інклюзивне навчання

Навчальна дисципліна «Механіка руйнування» може викладатися для більшості студентів з особливими освітніми потребами, окрім осіб з серйозними вадами зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

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

Вхідний контроль: Не передбачається.

Поточний контроль: експрес-контрольні роботи, модульна контрольна робота (у двох окремих частинах). Результати поточного контролю регулярно заносяться у модуль «Поточний контроль» електронного Кампусу.

Види поточного контролю та максимальні бали за кожен елемент контролю:

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього балів
1	Експрес-контрольні роботи	26	2	16	32
2	Модульна контрольна робота ч.1 (МКР-1)	13	34	1	34
3	Модульна контрольна робота ч.2 (МКР-2)	17	34	1	34
	ВСЬОГО:	100			100

Критерії оцінювання заходів поточного контролю

Експрес– контрольна робота	Ваговий бал
Відповідь правильна або має несуттєві помилки або є недоліки у відповіді (85%–100% потрібної інформації)	2
Є недоліки у відповіді та певні помилки (60%–84% потрібної інформації)	1
Відповідь містить менше 60% потрібної інформації або не надана у встановлений час	0

Модульна контрольна робота (для кожної з її двох частин)	Ваговий бал
Відповідь правильна (90%–100% потрібної інформації)	31-34
Несуттєві помилки у відповіді (75%–89% потрібної інформації)	26-30
Є недоліки у відповіді та певні помилки (60%–74% потрібної інформації)	20-25
Відповідь відсутня або містить менше 60% потрібної	0

Модульна контрольна робота проводиться двома окремими частинами по 30 хв.

Викладач має право ставити додаткові запитання щодо виконання завдань модульної контрольної роботи для більш об'єктивного оцінювання.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр на 7 і 13 навчальних тижнях як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю є значення поточного рейтингу студента не менше 50 % від максимально можливого на час проведення такого контролю.

Семестровий контроль: залік

Здобувач, який виконав умови допуску до заліку і має загальний поточний рейтинг не менше 60 балів отримує залік «автоматом». Рейтингова оцінка (сума балів) переводиться до залікової оцінки за університетською шкалою.

Здобувач, який виконав умови допуску до заліку і має загальний поточний рейтинг менше 60 балів виконує залікову контрольну роботу.

Якщо здобувач, який має підстави отримати залік «автоматом», хоче підвищити оцінку, він може взяти участь у заліковій контрольній роботі. У цьому разі попередній рейтинг студента з кредитного модуля скасовується.

Залікова контрольна робота	Рейтингові бали
Відповідь правильна 95%–100% потрібної інформації	100-95
Відповідь містить 94-85% потрібної інформації	94-85
Відповідь містить 84-75% потрібної інформації	84-75
Відповідь містить 74-65% потрібної інформації	74-65
Відповідь містить 64-60% потрібної інформації	64-60
Відповідь відсутня або містить менше 60% потрібної	Менше 60

Викладач має право ставити додаткові запитання щодо виконання завдань залікової контрольної роботи для більш об'єктивного оцінювання.

Після виконання залікової контрольної роботи здобувач отримує залікову рейтингову оцінку як більшу з оцінок, що отримані за результатами виконання залікової контрольної роботи або за рейтингом, отриманим у семестрі.

До відомості семестрового контролю заносяться рейтингові бали, отримані здобувачем у семестрі або за результатами виконання залікової контрольної роботи.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Результати оголошуються кожному студенту окремо у присутності або повідомляються в дистанційній формі (у системі месенджерів або електронною поштою).

Перелік питань, які виносяться на залікову контрольну роботу:

1. Предмет і задачі механіки руйнування. Крихке і пластичне (в'язке) руйнування
2. Критерій руйнування Гріффітса.
3. Застосування критерія руйнування Гріффітса для пластичних матеріалів (концепція Гріффітса-Орована-Ірвіна).
4. Поля напружень і переміщень в околі вершини тріщини у лінійно пружній нескінченій пластині з центральною тріщиною.
5. Коефіцієнт інтенсивності напружень. Силовий критерій руйнування Ірвіна.
6. Еквівалентність силового критерія Ірвіна і критерія Гріффітса.
7. Визначення KIH для тіл скінчених розмірів. Поправочні коефіцієнти, K-тарировка.
8. Визначення KIH методом скінчених елементів.
9. Пластична зона при вершині тріщини. Поправка Ірвіна на пластичність.
10. Форма зони пластичності в умовах плоского напруженого стану і плоскої деформації. Коефіцієнт обмеження на пластичність.
11. Методика експериментального визначення тріщиностійкості конструкційних матеріалів.
12. Оцінка міцності тіл з тріщинами в умовах плоского напруженого стану.
13. Визначення критичних навантажень пластини з тріщиною з використанням R-кривих.
14. J-інтеграл. Визначення J-інтеграла Райса. Незалежність J-інтеграла від шляху інтегрування.
15. Визначення напружень і деформацій в околі вершини тріщини за допомогою J-інтеграла. Рішення Хатчинсона-Райса-Розенгрена (HRR-розв'язок).
16. Використання J-інтеграла у якості параметра руйнування.
17. Визначення J-інтеграла методом Біглі-Лендеса.
18. Визначення J-інтеграла методом Буччі.
19. Визначення J-інтеграла методом Райса.
20. Визначення J-інтеграла методом скінчених елементів.
21. Використання розкриття вершини тріщини у якості деформаційного параметра руйнування.
22. Визначення розкриття вершини тріщини із застосуванням моделі Дагдейла-Баренблатта.
23. Зв'язки між параметрами руйнування при маломасштабній і повномасштабній текучості.
24. Оцінка довговічності на стадії зростання тріщини за числом циклів повторно-змінного навантаження. Формула Періса.
25. Модифікація формули Періса для врахування асиметрії циклу навантаження. Порядок розрахунку на довговічність на стадії зростання тріщини за кількістю циклів повторно-змінного навантаження.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів, к.т.н., доцентом Онищенко Євгеном Євгеновичем

Ухвалено кафедрою динаміки і міцності машин та опору матеріалів (Протокол № 6 від 18.12.2024 р.)

Погоджено Методичною комісією Навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту (протокол № 5 від 20.12.2024 р.)

