



Феноменологічні основи міцності

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	13. Механічна інженерія
Спеціальність	131. Прикладна механіка
Освітня програма	Динаміка і міцність машин
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4.0 кредити (120 годин)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: проф., д.т.н., Долгов Микола Анатолійович, mykoladnk+kpi@gmail.com Практичні: доц., к.т.н., Онищенко Євген Євгенович, mykoladnk+kpi@gmail.com

Програма навчальної дисципліни

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

Мета дисципліни.

Мета навчальної дисципліни «Феноменологічні основи міцності» полягає у вивченні методів прогнозування міцності і несівної здатності елементів конструкцій в умовах складного напруженого стану, зокрема обумовленого неоднорідностями конструкції - наявністю покриттів різного призначення або тріщин.

Предмет дисципліни.

Навчальна дисципліна «Феноменологічні основи міцності» вивчає міцність зчеплення покриттів, несівну здатність елементів конструкцій з покриттями та механізми руйнування покриттів внаслідок дії експлуатаційних факторів.

При аналізі конструктивної міцності матеріалів і конструкцій з покриттями виникає необхідність урахування складного напружено-деформованого стану, який виникає внаслідок існування дефектів в основному матеріалі і покритті, різниці властивостей покриття та основного матеріалу. Це потребує використання не тільки традиційних підходів опору матеріалів і теорії пружності, а більш складного математичного апарату. Знання відповідних методик та підходів дозволяє всебічно аналізувати несівну здатність та визначати конструктивну міцність шаруватих елементів конструкцій.

Програмні результати навчання:

В результаті вивчення дисципліни відбувається доповнення і розвиток наступних знань і умінь з визначення несівної здатності та конструктивної міцності шаруватих елементів конструкцій для різних співвідношень пружних характеристик шарів при реалізації складного напружено-деформованого стану; обґрунтовано визначити несівну здатність шаруватих елементів конструкцій ґрунтуючись на характеристиках міцності частин конструкції, зокрема здійснювати перевірку результатів чисельних досліджень за допомогою аналітичних методів для визначення напруженого стану в покритті та зоні адгезійного контакту.

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

Дисципліна ґрунтується на знаннях, отриманих при вивченні дисциплін: Вища математика, Теоретична механіка, Механіка матеріалів і конструкцій, Математична фізика, Теорія пружності, Теорія пластичності.

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення даної дисципліни можна використовувати у подальшому під час виконання бакалаврської дипломної роботи освітньої програми «Динаміка і міцність машин».

3. Зміст навчальної дисципліни

№ з/п	Тема
	Розділ 1. Особливості деформування та руйнування покриттів
1.	Класифікація покриттів та вимоги до них
2.	Причини руйнування покриттів
3.	Механізми руйнування покриттів
	Розділ 2. Напружений стан в покриттях
4.	Методи визначення напруженого стану в елементах конструкцій з покриттями
5.	Розтріскування та відшарування деформованого покриття
6.	Концентрація напружень в системі основа-покриття
7.	Сингулярність полів напружень в околі вільного краю покриття
8.	Визначення напруженого стану в одношаровому покритті
9.	Визначення напруженого стану в двошаровому покритті
	Розділ 3. Механічні властивості покриттів
10.	Модуль пружності покриття та методи його визначення

11.	Методи якісної оцінки міцності зчеплення покриття
12.	Методи кількісної оцінки міцності зчеплення покриття
13.	Когезійна міцність покриттів
14.	Тріщиностійкість покриттів
15.	Залишкові напруження в покриттях
16.	Зносостійкість покриттів
17.	Стандартні методики для визначення механічних характеристик покриттів
18.	Вибір методики випробувань для дослідження механічних властивостей покриттів

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Інженерія поверхні: Підручник / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. К. : Наук. думка, 2007. 558 с.
2. Нанесення покриття. Навчальний посібник / В.М. Корж, В.Д. Кузнецов, Ю.С. Борисов, К.А. Ющенко. К. : Видавництво Арістей 2005. 204 с.
3. Якименко Г.Я., Артеменко В.М. Гальванічні покриття. Аспекти вибору, функціональні властивості і технологія одержання: нав. посібник / за ред. Б.І. Байрачного. Харків: НТУ «ХПІ», 2009. 148 с.
4. Контроль якості лакофарбових матеріалів: підручник / С.В. Іванов, О.С. Тітова, В.В. Трачевський, З.В. Грушак. К.: НАУ, 2017. 452 с.
5. Функціональні матеріали і покриття : навчальний посібник / М.О. Азаренков, В.М. Береснев, С.В. Литовченко та ін. Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. 208 с.
6. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин: Навчальний посібник / За ред. Попова В. С. Запоріжжя: Мотор Січ, 2006. 420 с.
7. Інформаційні та вимірювальні системи: теорія і практика. Посібник / Г.І. Хімічева, О.М. Величко, О.В. Іванченко, М.А. Долгов, А.С. Зенкін. К. : Основа, 2006. 443 с.

Додаткова література (електронні ресурси):

1. ДСТУ ISO 4624 : 2015 Фарби та лаки. Визначення адгезії методом відриву.
2. ДСТУ ISO 2819 : 2009 Покриви металеві на металевій основі. Електролітичні та хімічні покриви. Методи випробовування на адгезійну міцність (ISO 2819:1980, IDT).
3. ДСТУ 2639 : 1994 Єдина система захисту від корозії та старіння. Покриття газотермічні. Метод визначення міцності зчеплення покриття з основою нормальним відривом в умовах температур до 1770 К.
4. Капустян О.Є., Андрущенко М.І. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання /. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2016. – 42 с.
5. Похмурська Г.В., Студент М.М., Похмурський В.І. Газотермічні покриття. Навчальний посібник - Львів. 2017.- 180 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Аудиторні заняття

№	Теми аудиторних занять	кіль- сть
1	Лекція 1. Класифікація покриттів та вимоги до них Вимоги до покриттів. Методи нанесення покриттів.	2
2	Лекція 2. Причини руйнування покриттів Технологічні причини. Крайові ефекти. Конструктивні концентратори напружень. Ударні та контактні навантаження.	2
3	Лекція 3. Механізми руйнування покриттів Розтріскування та відшарування покриття. Фрагментація покриття. Перетинання тріщиною, яка виникла в покритті, площини адгезійного контакту.	2
4	Лекція 4. Методи визначення напруженого стану в елементах конструкцій з покриттями Аналіз аналітичних методів визначення напруженого стану в елементах конструкцій з покриттями.	2
5	Лекція 5. Розтріскування та відшарування деформованого покриття Розтріскування покриття внаслідок дії двоосного напруженого стану. Пластичні деформації в покритті після його розтріскування. Руйнування основного матеріалу після розтріскування покриття. Відстань між тріщинами в покритті.	2
6	Лекція 6. Концентрація напружень в системі основа-покриття Вільний край покриття як концентратор напруження. Концентрація нормальних та дотичних напружень в системі основа-покриття.	2
7	Лекція 7. Сингулярність полів напружень в околі вільного краю покриття Використання методів теорії пружності для визначення полів напружень в околі вільного краю покриття. Розв'язок характеристичного рівняння. Аналіз показників сингулярності для різних пар основа-покриття.	2
8	Лекція 8. Визначення напруженого стану в одношаровому покритті Особливості деформування одношарового покриття кінцевої довжини. Визначення розподілу нормальних напружень в покритті та дотичних напружень в площині адгезійного контакту основи та покриття. .	2
9	Лекція 9. Визначення напруженого стану в двошаровому покритті Особливості деформування двошарового покриття кінцевої довжини.	2
10	Лекція 10. Модуль пружності покриття та методи його визначення: Модуль пружності матеріалу покриття. Вплив структури покриття на його модуль пружності. Статичні та динамічні методи визначення модуля пружності покриттів.	2
11	Лекція 11. Методи якісної оцінки міцності зчеплення покриття Адгезія та адгезійна міцність. Метод клейкої ленти. Абразивний метод. Визначення міцності зчеплення після дії ударних навантажень. Неруйнівні методи контролю.	2
12	Лекція 12. Методи кількісної оцінки міцності зчеплення покриття Основні та найбільш розповсюджені методи кількісної оцінки міцності зчеплення покриття. Переваги та недоліки різних методів.	2

13	Лекція 13. Когезійна міцність покриттів Особливості визначення когезівної міцності покриттів. Використання методів на розтяг, згин та стискання для визначення когезівної міцності.	2
14	Лекція 14. Тріщиностійкість покриттів Особливості визначення тріщиностійкості для тонких та товстих покриттів. не розтріскування. Методи індентування та дряпання.	2
15	Лекція 15. Залишкові напруження в покриттях Теорія виникнення залишкових напружень в покриттях. Структурні та термічні залишкові напруження. Фактори, які впливають на залишкові напруження. Способи зниження залишкових напружень.	2
16	Лекція 16. Зносостійкість покриттів Загальні відомості щодо зносостійкості матеріалів. Класифікація видів зношування. Методи визначення зносостійкості.	2
17	Лекція 17. Стандартні методики для визначення механічних характеристик покриттів Стандарти ДСТУ для визначення механічних характеристик покриттів. Порівняння зразків та умов випробувань стандартів різних країн для визначення механічних характеристик покриттів.	2
18	Лекція 18. Вибір методики випробувань для дослідження механічних властивостей покриттів Особливості вибору методики випробувань для дослідження механічних властивостей покриттів.	2
Разом		36

Практичні заняття

№ з/п	Теми практичних занять	Кількість годин
1	Адгезійна міцність покриттів	4
2	Визначення модуля пружності покриттів	4
3	Визначення залишкових напружень в покриттях	4
4	Визначення показника сингулярності в елементах конструкцій з низько- та високомодульними покриттями	4
5	Вплив технології нанесення покриття на його модуль пружності	4
6	Визначення розподілу напружень у деформованих одношарових покриттях	4
7	Визначення розподілу напружень у деформованих двошарових покриттях	4
8	Вимірювання мікротвердості покриттів	4
9	Критерії руйнування покриттів	4
Разом		36

Позааудиторні заняття

Передбачається в межах вивчення навчальної дисципліни участь студентів у міжнародних науково-практичних конференціях в рамках «Форум інженерів-механіків» та ін.

Платформа дистанційного навчання:

Для більш ефективної комунікації з метою розуміння структури навчальної дисципліни «Міцність та руйнування елементів конструкцій» і засвоєння матеріалу використовується електронна пошта, електронний кампус КПІ, сервіс для проведення онлайн- нарад Zoom, за допомогою яких:

- спрощується розміщення та обмін навчальним матеріалом;
- здійснюється надання зворотного зв'язку з студентами стосовно навчальних завдань та змісту навчальної дисципліни;
- оцінюються навчальні завдання студентів;
- ведеться облік виконання студентами плану навчальної дисципліни, графіку виконання навчальних завдань та їх оцінювання.

Самостійна робота студента

№ з/п	Теми самостійних робіт	Кількість годин
1	Розрахунок напружень, які викликають адгезійне руйнування покриттів	12
2	Вплив покриттів на несівну здатність конструкції	12
3	Методи підвищення міцності зчеплення покриттів	12
4	Підвищення роботоздатності конструкції (деталі, виробу) після нанесення покриттів	12
5	Покриття для полімерних матеріалів Шляхи підвищення міцності та пластичності металів	12
6	Методи поверхневого зміцнення матеріалів	12
7	Вплив покриття на міцність та пластичність металів	16
Разом		78

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Відвідування лекцій та практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюються. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання.

Система оцінювання орієнтована на отримання балів за своєчасність виконання студентами практичних робіт, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал

Своєчасне виконання практичної роботи (за кожну таку роботу)	+ 4 бали	Порушення термінів виконання практичної роботи, модульної контрольної роботи	0
--	----------	--	---

Пропущені контрольні заходи

Індивідуальне завдання, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання, але до терміну виставлення поточної атестації (або заліку/ іспиту), оцінюються зі штрафними балами.

Індивідуальне завдання, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання та після терміну виставлення поточної атестації(або заліку/ іспиту), не оцінюються.

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 «Кодексу честі» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше : <https://kpi.ua/code>.

Навчання іноземною мовою

Навчальна дисципліна «Феноменологічні основи міцності » не передбачає її вивчення англійською мовою. У процесі викладання навчальної дисципліни використовуються матеріали та джерела англійською мовою.

Враховуючи студентоцентризований підхід, за бажанням україномовних студентів, допускається вивчення матеріалу за допомогою англійськомовних онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

Інклюзивне навчання

Навчальна дисципліна «Феноменологічні основи міцності » 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.

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

№ з/п	Контрольний захід		Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Практична робота	60	5	12	60
4.	Залік	40	40	1	40
Всього					100

Результати оголошуються кожному студенту окремо у присутності або в дистанційній формі (у системі Moodle або е-поштою).

Поточний контроль: модульна контрольна робота, оцінювання дистанційного навчання 1. Модульна контрольна робота

№ з/п	Модульна контрольна робота	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Відповідь правильна (не менше 90% потрібної інформації)	90	30	3	90
2.	Несуттєві помилки у відповіді (не менше 75% потрібної інформації)	75	25	3	75
3.	Е недоліки у відповіді та певні помилки (не менше 60% потрібної інформації)	60	20	3	60
4.	Відповідь на тестове запитання з варіантами відповідей	10	10	1	10
5.	Відповідь відсутня або не правильна	0	0	3	0
Максимальна кількість балів					100

2. Дистанційне навчання

Виставлення оцінки за дистанційне навчання шляхом перенесення результатів проходження онлайн-курсів у системі Moodle передбачено лише для контрольних запитань і результатів тестування за виконання індивідуального завдання.

Виставлення оцінки за контрольні заходи (практичні роботи, модульна контрольна робота) шляхом перенесення результатів проходження онлайн-курсів не передбачено.

№ з/п	Дистанційне навчання	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Відповідь на контрольні запитання в онлайн-системі Webex або Zoom	40	10	4	40
2.	Відповідь на тести у системі Moodle	50	10	5	50
3.	Вчасність проходження дистанційного навчання	10	10	1	10
Всього					100

У разі виявлення академічної не доброчесності під час дистанційного навчання — контрольний

захід не враховується, студент до захисту не допускається.

Календарний рубіжний контроль

Проміжна атестація студентів (далі—атестація) є календарним рубіжним контролем. Метою проведення атестації є підвищення якості навчання студентів та моніторинг виконання графіка освітнього процесу ³.

Критерій		Перша атестація	Друга атестація
Термін атестації ⁴		8-ий тиждень	14-ий тиждень
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг ⁵	> 15 балів	> 30 балів
	Виконання практичних робіт	Практична робота № 1-5	+
		Практична робота № 6-9	—
	Виконання модульної контрольної роботи	Модульна контрольна робота	—

Семестровий контроль: залік

Обов'язкова умова допуску до екзамену/заліку		Критерій
1	Поточний рейтинг	RD ≥ 30

Умови допуску до семестрового контролю:

1. Виконання практичних робіт;
2. Позитивний результат першої атестації та другої атестації;
3. Відвідування 60% лекційних занять.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою 2

Рейтингові бали, RD	Оцінка за університетською шкалою	Можливість отримання оцінки «автоматом»
95 ≤ RD ≤ 100	Відмінно	є
85 ≤ RD ≤ 94	Дуже добре	є
75 ≤ RD ≤ 84	Добре	є
65 ≤ RD ≤ 74	Задовільно	немає
60 ≤ RD ≤ 64	Достатньо	немає
RD < 60	Незадовільно	—
Не виконані умови допуску	Не допущено	—

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто викладачем згідно із наперед визначеними процедурами.

Додаткова інформація стосовно процедури оскарження результатів: студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Додаткова інформація стосовно іспиту/заліку/співбесіди:

На заліку студентам дозволяється користуватись учбово-методичним забезпеченням з практичних занять.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

1. Класифікація покриттів та вимоги до них.
2. Причини руйнування покриттів.
3. Механізми руйнування покриттів.
4. Методи визначення напруженого стану в елементах конструкцій з покриттями.
5. Розтріскування та відшарування деформованого покриття.
6. Концентрація напружень в системі основа-покриття.
7. Сингулярність полів напружень в околі вільного краю покриття.
8. Визначення напруженого стану в одношаровому покритті.
9. Визначення напруженого стану в двошаровому покритті.
10. Модуль пружності покриття та методи його визначення.
11. Методи якісної оцінки міцності зчеплення покриття.
12. Методи кількісної оцінки міцності зчеплення покриття.
13. Когезійна міцність покриттів.
14. Тріщиностійкість покриттів.
15. Залишкові напруження в покриттях.
16. Зносостійкість покриттів.
17. Стандартні методики для визначення механічних характеристик покриттів.
18. Вибір методики випробувань для дослідження механічних властивостей покриттів.

Можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних курсів

1. Проходження онлайн-курсів у системі Moodle

Дистанційне навчання через проходження онлайн-курсів у системі Moodle за певною тематикою допускається за умови погодження з студентами. У разі, якщо невелика кількість студентів має бажання пройти онлайн-курс за певною тематикою, вивчення матеріалу за допомогою таких курсів допускається, але студенти повинні виконати всі завдання, які передбачені у навчальній дисципліні (практичні роботи, модульна контрольна робота).

2. Проходження онлайн-курсів на платформі Coursera

Студентам пропонуються курси на платформі *Coursera*, які дають їм можливість отримання кредитів у якості змішаного чи додаткового навчання, а також отримати додаткові бали з навчальної дисципліни.

Курси з каталогу *Coursera for Campus* або он-лайн курси обрані самими студентами з більш широкого каталогу *Coursera* доповнюють навчальну програму з дисципліни. Перелік дистанційних курсів наведено на сайті кафедри біомедичної інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського: <http://bmi.fbmi.kpi.ua/non-formal-education>

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Склав: проф., д.т.н., Долгов Микола Анатолійович

Ухвалено

кафедрою динаміки міцності машин та опору матеріалів (протокол № 5 від 16 грудня 2021 року);

Погоджено Методичною комісією НН ММІ (протокол № 5 від 17 грудня 2021 року).