Вінницький національний технічний університет
Інститут докторантури та аспірантури
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування

МІЦНІСТЬ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ ДЕТАЛЕЙ ТА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ МАШИН

Вибірковий освітній компонент

Рівень вищої освіти: **третій (освітньо-науковий)**

Спеціальність: **G9 Прикладна механіка; дисципліна відкрита для інших спеціальностей третього рівня**

Освітня програма: **Прикладна механіка (для здобувачів G9)**

Викладач / розробник: **Ковалевський С. В., професор**

Мова викладання: **українська**

Семестр: **4**

Кредитів ЄКТС: **3**

Загальна кількість годин: **90**

Лекцій: 16 год.

Практичні заняття: **16 год.**

Самостійна робота: **58 год.**

Вид контролю: Диф. залік

Передумови для вивчення дисципліни

Для успішного вивчення потрібні базові знання з опору матеріалів, механіки деформування й руйнування, математичного моделювання, теорії ймовірностей.

Мета дисципліни

Поглибити вміння аналізувати міцність, руйнування, довговічність і надійність деталей машин, обирати розрахункові критерії та застосовувати цифрові й імовірнісні моделі прогнозування ресурсу.

Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач в результаті вивчення дисципліни:

- Здатність обирати механічні критерії для оцінювання міцності, тріщиностійкості та довговічності деталей машин.
- Здатність використовувати розрахункові й імовірнісні моделі для прогнозування ресурсу елементів конструкцій.
- Здатність аналізувати навантаження, дефекти, втомне пошкодження та експлуатаційні умови під час ухвалення інженерних рішень.

- Здатність застосовувати CAE-засоби та цифрові моделі для перевірки і зіставлення варіантів конструкцій.
- Здатність критично перевіряти чисельні та автоматизовано отримані результати і пояснювати межі їх застосування.

За результатами вивчення дисципліни здобувачі вищої освіти набувають результатів навчання:

Знати:

- Критерії міцності, тріщиностійкості та втомного руйнування деталей і елементів конструкцій машин;
- Основні підходи до оцінювання довговічності, надійності та прогнозування залишкового ресурсу;
- Можливості й обмеження чисельних, імовірнісних і діагностичних моделей оцінювання технічного стану.

Вміти:

- Обирати критерій міцності для заданого матеріалу та напруженого стану.
- Розраховувати параметри тріщиностійкості й оцінити умови розвитку тріщини.
- Оцінювати втомну довговічність і ймовірність безвідмовної роботи.
- Формувати й перевіряти модель прогнозування ресурсу деталі.
- Обґрунтовувати застосування моніторингу стану та інтелектуальних інструментів, перевіряючи їхні результати.

Тематика

Модуль 1. Класичні та сучасні методи оцінювання міцності, руйнування і довговічності деталей машин

Тема 1 (2 год.). Аналіз та застосування класичних і сучасних критеріїв міцності деталей машин. Поняття про граничні стани та критерії міцності. Аналіз напруженого та деформованого стану деталей машин. Класичні критерії міцності Треска, Мізеса, Мора. Узагальнений критерій Писаренка–Лебедєва. Особливості застосування критеріїв для ізотропних та анізотропних матеріалів. Порівняльний аналіз критеріїв міцності при складному напруженому стані. Методологія вибору критерію міцності залежно від умов експлуатації конструкцій.

Тема 2 (2 год.). Аналіз і моделювання процесів руйнування деталей та елементів конструкцій машин. Основні положення механіки руйнування. Типи дефектів і тріщин. Коефіцієнт інтенсивності напружень. J-інтеграл. CTOD. Стабільне та нестабільне поширення тріщин. Методи визначення тріщиностійкості матеріалів. Сучасні підходи до прогнозування руйнування деталей машин.

Тема 3 (2 год.). Оцінювання довговічності деталей машин на основі сучасних теорій втоми. Фізична природа втомного руйнування. Криві Велера.

Метод ε-N. Правило Пальмгрена–Майнера. Rainflow-аналіз. Багатоосьова втома. Гігациклова втома (VHCF). Методи прогнозування довговічності деталей машин за змінного навантаження.

Тема 4 (2 год.). Розроблення та застосування ймовірнісних моделей міцності, довговічності та надійності. Стохастичний характер руйнування конструкцій. Розподіли Вейбулла, логнормальний та нормальний розподіли. Імовірність безвідмовної роботи. Оцінювання ризику руйнування. Надійність деталей машин при випадкових навантаженнях. Імовірнісні методи прогнозування ресурсу.

Модуль 2. Цифрові технології та інтелектуальні системи прогнозування ресурсу деталей машин

Тема 5 (2 год.). Побудова та верифікація цифрових двійників і моделей Scientific Machine Learning для прогнозування ресурсу. Концепція Digital Twin. Архітектура цифрового двійника. Інтеграція експериментальних даних та чисельного моделювання. Grey-box моделі. Scientific Machine Learning. Physics-Informed Neural Networks. Калібрування моделей прогнозування ресурсу.

Тема 6 (2 год.). Проєктування агентних систем автоматизації розрахунків міцності та довговічності. Архітектура сучасних AI-агентів. Автоматизація інженерних розрахунків. Інтеграція LLM із CAE-системами. Побудова агентних workflow. Автоматизація аналізу нормативної документації та наукових джерел.

Тема 7 (2 год.). Застосування мультиагентних систем прогнозування накопичення пошкоджень і залишкового ресурсу (PHM). Основи Prognostics and Health Management. Методи моніторингу технічного стану. Архітектура мультиагентних PHM-систем. Прогнозування залишкового ресурсу. Предиктивне технічне обслуговування.

Тема 8 (2 год.). Використання ШІ-агентів у наукових дослідженнях міцності та довговічності деталей машин. Методологія використання генеративного штучного інтелекту в інженерних дослідженнях. Академічна доброчесність при застосуванні ШІ. Автоматизація аналізу наукових публікацій. Підготовка наукових текстів, програм експериментів і технічної документації із використанням інтелектуальних агентів.

Теми семінарських занять - не передбачені

Теми практичних занять

№	Назва практичної роботи	Год.
1	Розрахунок міцності деталей за критеріями Треска, Мізеса та Писаренка–Лебедєва	2
2	Визначення параметрів тріщиностійкості елемента конструкції	2

№	Назва практичної роботи	Год.
3	Розрахунок втомної довговічності за кривими Велера, правилом Майнера та Rainflow-аналізом	2
4	Побудова і перевірка ймовірнісної моделі прогнозування ресурсу деталі	2
5	Створення спрощеної моделі цифрового двійника деталі для прогнозування її ресурсу	2
6	Проєктування агентного процесу (workflow) для автоматизації розрахунків міцності та довговічності у CAE-середовищі	2
7	Розроблення концепції PHM-системи прогнозування технічного стану	2
8	Використання та перевірка результатів ШІ-агентів для аналізу наукових джерел і підготовки матеріалів дисертаційного дослідження	2
	Усього	16

Теми лабораторних занять - не передбачені

Самостійна робота

№	Вид роботи	Год.
1	Порівняння сучасних критеріїв міцності для об’єкта дослідження	4
2	Огляд моделей механіки руйнування та оцінки тріщиностійкості	4
3	Аналіз моделей багатоосьової та гігациклової втоми	4
4	Ймовірнісна модель оцінювання довговічності конструкції	5
5	Концепція цифрового двійника об’єкта дослідження	4
6	Проєктування інтелектуального агента для автоматизації оцінювання міцності та довговічності	4
7	Огляд PHM-платформ та предиктивного технічного обслуговування	5
8	Огляд застосування ШІ в дослідженнях прикладної механіки	5
9	Опрацювання лекційного матеріалу	4
10	Підготовка до практичних занять	8
11	Підготовка до модульного контролю	8
12	Підготовка до диференційованого заліку	3
	Усього	58

Методи навчання

Лекції охоплюють критерії міцності, методи прогнозування ресурсу й інженерні моделі надійності. Практичні заняття організовано як розрахунки, перевірку прогнозних моделей, аналіз експлуатаційних даних і захист

інженерних рішень. Самостійно здобувачі опрацьовують публікації, готують розрахунки та обґрунтовують межі застосування результатів.

Індивідуальні завдання

Індивідуальне розрахунково-аналітичне завдання виконують для обраної деталі машини: визначають навантаження, обирають критерії міцності, оцінюють умови руйнування та прогнозований ресурс, формулюють обмеження прийнятої моделі. Результати розрахунків практичних робіт 1–6 використовують як вихідні дані для двох завершальних робіт: у практичній роботі 7 розробляють концепцію моніторингу й прогнозування стану, у практичній роботі 8 перевіряють вихідні дані, джерела та автоматизовані висновки. Окремого додаткового оцінювання індивідуального завдання немає.

Форми та методи контролю

Поточний контроль охоплює перевірку та захист практичних робіт, колоквіуми й інші оцінювані завдання, передбачені силабусом. Підсумковий контроль - диференційований залік. Порядок проведення контрольних заходів, повторного складання й оскарження результатів визначають чинні документи ВНТУ.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти

Вид роботи	**Модуль 1**	**Модуль 2**	**Разом**
Практичні роботи	25	25	50
Колоквіуми	25	25	50
Разом за семестр	50	50	100
Диференційований залік	–	–	0
Усього	–	–	100

Шкала оцінювання

Бали	**ECTS**	**Національна оцінка**
90–100	A	відмінно
82–89	B	добре
75–81	C	добре
64–74	D	задовільно
60–63	E	задовільно
35–59	FX	незадовільно, можливе повторне складання
0–34	F	незадовільно, повторне вивчення

Критерії оцінювання знань, умінь та навичок здобувачів вищої освіти

Рівень	Бали	ECTS	Критерії
IV (високий)	90–100	A	Самостійно виконує завдання без суттєвих помилок, перевіряє результати, аргументовано пояснює рішення та його обмеження.
III (достатній)	82–89	B	Виконує всі основні завдання правильно, допускає поодинокі неточності в оформленні або висновках.
III (достатній)	75–81	C	Опановано основні методи; завдання виконані, проте окремі розрахунки або пояснення містять несуттєві помилки.
II (середній)	64–74	D	Виконано базові задачі; висновки неповні, є помилки, що не спотворюють основний результат.
II (середній)	60–63	E	Продемонстровано мінімальне знання методів; завдання виконано частково, з допомогою викладача виправлено основні помилки.
I (низький)	35–59	FX	Виконано лише частину потрібних завдань, є суттєві помилки; необхідне повторне складання.
I (низький)	0–34	F	Основні методи не опановано, більшість завдань відсутня або виконана неправильно; необхідне повторне вивчення.

Рівні якості виконання окремих робіт подано як частку отриманих балів від максимальної оцінки за роботу. Під час оцінювання враховують відповідні змістові критерії; для невеликих робіт можуть нараховуватися дробові бали. Літерну оцінку ECTS визначають лише за підсумковою сумою балів за дисципліну, а не за окремою роботою.

ECTS	Виконання	Розрахунки міцності та моделі ресурсу	Колоквіуми й задачі з надійності
A	90–100%	Виконано всі суттєві етапи роботи, результат перевірено; метод і висновки обґрунтовані.	Висока правильність відповідей і рішень; розрахунки, пояснення та захист повні.
B	82–89%	Основний результат правильний; є незначні неточності, що не впливають на висновок.	Переважно правильні відповіді й рішення; поодинокі неточності у поясненні.
C	75–81%	Основні етапи виконано; окремі недоліки в перевірці результату або аргументації.	Відповіді здебільшого правильні, але частина розрахунків або пояснень неповна.
D	64–74%	Отримано частковий результат; є помилки у виконанні або обґрунтуванні.	Виконано основні елементи контрольних завдань, але допущено помилки у застосуванні методів.

ECTS	Виконання	Розрахунки міцності та моделі ресурсу	Колоквіуми й задачі з надійності
E	60–63%	Підтверджено лише мінімальні вміння; розрахунки, схема або висновки неповні.	Відтворено базові поняття і мінімум необхідних дій; обґрунтування недостатнє.
FX	35–59%	Частину роботи виконано, проте залишаються суттєві помилки; результат потребує повторного опрацювання.	Більшість суттєвих відповідей і перевірок неповна або помилкова; потрібне повторне виконання.
F	0–34%	Основні етапи не виконано або результат практично відсутній.	Правильних рішень або підтверджених відповідей майже немає.

Бали за кожним показником нараховують у межах його максимуму; обґрунтованість рішень і перевірка результатів враховуються окремо від формального оформлення роботи.

Вид і конкретна робота	Макс. балів	Критерії нарахування балів
Практична робота 1. Розрахунок міцності деталей за критеріями Треска, Мізеса та Писаренка–Лебедєва	6	Обґрунтовано вибір критеріїв міцності – 3 б.; виконано коректні розрахунки й зіставлення – 2 б.; пояснено межі застосування – 1 б.
Практична робота 2. Визначення параметрів тріщиностійкості елемента конструкції	6	Правильно визначено розрахункові параметри тріщини – 3 б.; оцінено тріщиностійкість із урахуванням умов навантаження – 2 б.; висновок – 1 б.
Практична робота 3. Розрахунок втомної довговічності за кривими Велера, правилом Майнера та Rainflow-аналізом	6	Коректно виконано Rainflow-аналіз і розрахунок за кривою Велера – 3 б.; застосовано правило Майнера та проаналізовано ресурс – 2 б.; пояснення – 1 б.
Практична робота 4. Побудова і перевірка ймовірнісної моделі прогнозування ресурсу деталі	7	Правильно обрано імовірнісний розподіл і його параметри – 3 б.; перевірено прогноз за даними – 2 б.; аргументовано обмеження та інтерпретацію ризику – 2 б.
Практична робота 5. Створення спрощеної моделі цифрового двійника деталі для прогнозування її ресурсу	6	Визначено стан і параметри цифрової моделі – 3 б.; пов’язано модель із прогнозом ресурсу – 2 б.; описано спосіб верифікації – 1 б.
Практична робота 6. Проєктування послідовності автоматизованих розрахунків міцності у CAE-середовищі	6	Правильно вибудувано послідовність CAE-розрахунку – 3 б.; визначено контрольні перевірки вхідних даних і результатів – 2 б.; пояснення – 1 б.

Вид і конкретна робота	Макс. балів	Критерії нарахування балів
Практична робота 7. Розроблення концепції РНМ-системи прогнозування технічного стану	6	Для індивідуального завдання визначено параметри моніторингу стану й достовірні джерела даних — 3 б.; обґрунтовано схему прогнозу ресурсу — 2 б.; захищено рішення — 1 б.
Практична робота 8. Перевірка результатів застосування ШІ-інструментів до аналізу джерел і розрахункових даних	7	Для індивідуального завдання перевірено першоджерела та вихідні розрахункові дані — 3 б.; незалежно перевірено результати автоматизованого аналізу — 2 б.; аргументовано висновки й обмеження — 2 б.
Колоквіум 1	25	Критерії міцності та тріщиностійкості – 8 б.; розрахунки навантажень і граничних станів – 12 б.; висновки про надійність – 5 б.
Колоквіум 2	25	Втома, ресурс і цифрові засоби прогнозування – 8 б.; задачі на розрахунок та перевірку моделей – 12 б.; обґрунтування прийнятого рішення – 5 б.

Індивідуальне завдання оцінюють у межах практичних робіт 7 (6 балів: параметри моніторингу та джерела даних — 3; обґрунтування прогнозу ресурсу — 2; захист — 1) і 8 (7 балів: достовірність вихідних джерел — 3; незалежна перевірка розрахунку — 2; аргументовані висновки — 2). Інші практичні роботи дають вихідні результати, але не оцінюються вдруге.

Академічні права та обов’язки здобувачів вищої освіти

Здобувачі вищої освіти, які навчаються у ВНТУ, мають дотримуватися норм забезпечення честі, гідності, взаємної поваги і довіри, рівноправності та толерантності всіх учасників освітнього процесу шляхом дотримання принципів академічної доброчесності, викладених у «Положенні про академічну доброчесність у ВНТУ».

З метою запобігання та виявлення плагіату в навчальних роботах, розвитку навичок коректної роботи із джерелами інформації та належного цитування, дотримання вимог наукової етики й поваги до інтелектуальних надбань слід виконувати вимоги «Положення про запобігання академічному плагіату та порядок його виявлення у навчальних, наукових, кваліфікаційних та науково-методичних роботах у ВНТУ».

Здобувачі вищої освіти можуть скористатися процедурами визнання результатів навчання, здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти, зокрема під час навчання за програмами, що не передбачають присудження визнаних державою освітніх кваліфікацій, або шляхом самоосвіти, відповідно до «Положення про порядок визнання результатів навчання, здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти у ВНТУ».

Здобувачі вищої освіти мають право оскаржити результати проміжних та підсумкових контрольних заходів на підставі аргументованих пояснень відповідно до «Порядку організації та проведення заліків, диференційованих заліків, екзаменів у ВНТУ», а також звернутися до освітнього омбудсмена згідно з «Положенням про освітнього омбудсмена з прав студентів ВНТУ».

Для запобігання конфліктним ситуаціям та їх розв'язання учасники освітнього процесу мають дотримуватися «Кодексу етики ВНТУ». Здобувачі вищої освіти ВНТУ керуються принципом «нульової толерантності» до будь-яких проявів корупції та дотримуються «Антикорупційної програми ВНТУ».

Наведені документи оприлюднені на офіційному сайті ВНТУ: https://vntu.edu.ua/uk/public-info/zag.html.

Рекомендована література

Основна

1. Ковалевський С. В. Аналіз, моделювання та прогнозування міцності, довговічності і надійності деталей машин : підручник. Вінниця : ВНТУ, 2026. 491 с.

2. Ковалевський С. В. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Міцність та довговічність деталей та елементів конструкцій машин» для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності G9 «Прикладна механіка». Вінниця : ВНТУ, 2026.

3. Ковалевський С. В. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Міцність та довговічність деталей та елементів конструкцій машин» для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності G9 «Прикладна механіка». Вінниця : ВНТУ, 2026.

4. Писаренко Г. С., Яковлєв А. П., Матвєєв В. В. Опір матеріалів : підручник. 5-те вид., перероб. і доп. Київ : Вища школа, 2004. 655 с.

5. Norton R. L. Machine Design: An Integrated Approach. 6th ed. Boston : Pearson, 2020. 1040 p.

6. Stephens R. I., Fatemi A., Stephens R. R., Fuchs H. O. Metal Fatigue in Engineering. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 2000. 496 p.

7. Anderson T. L. Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2017. 671 p.

8. Dowling N. E., Kampe S. L., Kral M. V. Mechanical Behavior of Materials: Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue. 5th ed. Boston : Pearson, 2019. 960 p.

Додаткова

1. Schijve J. Fatigue of Structures and Materials. 2nd ed. Dordrecht : Springer, 2009. XXI, 623 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6808-9.

2. Suresh S. Fatigue of Materials. 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 1998. 704 p. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9780511806575.

3. Paris P., Erdogan F. A Critical Analysis of Crack Propagation Laws. Journal of Basic Engineering. 1963. Vol. 85, no. 4. P. 528–533. DOI: https://doi.org/10.1115/1.3656900.

4. Murakami Y. Metal Fatigue: Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions. Oxford : Elsevier Science, 2002. URL: https://shop.elsevier.com/books/metal-fatigue-effects-of-small-defects-and-nonmetallic-inclusions/unknown/978-0-08-044064-4 (дата звернення: 12.11.2026).

5. Farrar C. R., Worden K. Structural Health Monitoring: A Machine Learning Perspective. Chichester : John Wiley & Sons, 2012. DOI: https://doi.org/10.1002/9781118443118.

6. Manson S. S. Fatigue: A complex subject – Some simple approximations. Experimental Mechanics. 1965. Vol. 5, no. 7. P. 193–226. DOI: https://doi.org/10.1007/BF02321056.

7. ISO 12107:2012. Metallic materials – Fatigue testing – Statistical planning and analysis of data. Geneva : ISO, 2012. URL: https://www.iso.org/standard/50242.html (дата звернення: 12.11.2026).

8. ISO 12108:2018. Metallic materials – Fatigue testing – Fatigue crack growth method. Geneva : ISO, 2018. URL: https://www.iso.org/committee/53560/x/catalogue/ (дата звернення: 12.11.2026).

9. ISO 12110-2:2013. Metallic materials – Fatigue testing – Variable amplitude fatigue testing – Part 2: Cycle counting and related data reduction methods. Geneva : ISO, 2013. URL: https://www.iso.org/committee/53560/x/catalogue/ (дата звернення: 12.11.2026).

10. ASTM E1049-85(2017). Standard Practices for Cycle Counting in Fatigue Analysis. West Conshohocken : ASTM International, 2017. DOI: https://doi.org/10.1520/E1049-85R17. (Історична редакція стандарту.)