



## НАЗВА КУРСУ

# Механіка руйнування і залишковий ресурс

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка</i>
Освітня програма	<i>Інженерія авіаційних та ракетно-космічних систем</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 год</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	<i>В розкладі представлено згідно РНП лекції- 1 год. і 2 год. практичні заняття кожного тижня рівномірно протягом семестра: rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: Доктор технічних наук, професор Архипов Олександр Геннадійович, т.м. +380509879888, e-mail: arkhypov@gmail.com Практичні / Семінарські: кандидат хімічних наук, ст. наук. співробітник Казакевич Михайло Леонідович, т.м. +380503864311, e-mail: m_kazakevich@ukr.ne
Розміщення курсу	<a href="#">Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Механіка руйнування і залишковий ресурс» є логічним продовженням курсу дисциплін розрахованих на проведення розрахунків з міцності, жорсткості, стійкості і використання їх при проведенні проектування аерокосмічної техніки. Вона завершує цей теоретичний цикл і озброює інструментарієм для оцінювання залишкового ресурсу елементів конструкцій. Майбутній фахівець поглиблює знання не лише в міцності, але і в матеріалознавстві і діагностуванні складових конструкцій. Сучасні транспортні і пасажирські літаки мають розрахунковий ресурс 25-26 років, ракетно-космічна техніка все більше передбачає багаторазове використання. Всі ці фактори вимагають забезпечення надійної роботи і періодичного, а бажано постійного контролю поточного стану складних технічних об'єктів, до яких і відносяться конструкції літаків і ракет. Надійність розробки літальних апаратів забезпечується вибором необхідних конструкційних матеріалів, адекватною побудовою розрахункових моделей і оптимізацією конструктивних елементів за відповідними критеріями. В аерокосмічній галузі літальні апарати експлуатують за значних перевантажень і в умовах нестаціонарних циклічних навантажень, в перемінних теплових полях і середовищах. Все ці фактори вимагають від спеціалістів глибоких знань з дисциплін орієнтованих на міцнісні розрахунки, а також розрахунків на жорсткість і стійкість. Однією з таких дисциплін є «Механіка руйнування і залишковий ресурс».



Метою дисципліни є вивчення і закріплення вміння застосовувати теорії граничних станів для розрахунку елементів конструкцій в аерокосмічній галузі; оцінювати роботу елементів конструкцій під навантаженням і прогнозувати їх залишковий ресурс в процесі експлуатації. Вивчення дисципліни забезпечує згідно із освітньою програмою компетентність ЗК 2 ФК 9 - здатність розробляти конструкцію та діагностувати вузли і елементи об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Предметом дисципліни є теорії граничних станів і критеріальні гіпотези, що дозволяють прогнозувати перехід з одного стану в інший в процесі експлуатації під навантаженням і з врахуванням впливу робочого і навколишнього середовища.

Програмними результатами навчання є вміння майбутнього фахівця створювати адекватні розрахункові схеми реальних конструкцій з врахуванням їх спільної роботи в конструкції літального апарата і застосовувати для їх розрахунку відповідні методи; вміння комплексно втілювати набуті знання при проектуванні і конструюванні складної техніки від вибору конструкційних матеріалів до оцінки їх залишкового ресурсу в процесі експлуатації. Згідно із освітньою програмою, результатом вивчення освітнього компоненту є ПРН 19 - Вміння, на основі знань та розуміння особливостей конструкції та робочих процесів в системах та елементах авіаційної та ракетно-космічної техніки формулювати та розв'язати науково-технічні задачі щодо розроблення їх новітніх зразків.

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

Курс базується на дисциплінах бакалаврської підготовки «Вища математика», «Фізика», «Теоретична механіка», «Опір матеріалів», «Механіка матеріалів і конструкцій». Набуті знання при вивченні курсу «Механіка руйнування і залишковий ресурс» використовуються при дипломному проектуванні та у професійній практиці.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Теоретичний курс дисципліни складає 18 академічних годин і містить наступні теми:

РОЗДІЛ 1. Основи будови металів

Тема 1.1. Фізичні основи надійності металевих матеріалів

РОЗДІЛ 2. Механізм і динаміка втомних руйнувань

Тема 2.1. Поняття про втому металів, особливості її протікання

Тема 2.2. Динаміка руйнування конструкційних матеріалів і вплив середовища

РОЗДІЛ 3. Експлуатаційна деградація металів і її чинники

Тема 3.1. Оцінювання експлуатаційної деградації структурними змінами металу

Тема 3.2. Наводнювання металів і вплив середовища на експлуатаційну деградацію металів

Тема 3.3. Корозія металів, її види і особливості протікання

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

Базова література:

1. Механіка руйнування і міцність матеріалів. Під редак. В.В. Панасюка. Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка, 2006.
2. Тимошенко С.П., Gere Дж. Механика материалов. М.: Мир, 1976.
3. Ресурс и долговечность авиационной техники. Игнатович С.Р. и др. К.: НАУ, 2015.
4. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
5. Механика разрушения и прочность материалов. Т.4. Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов. Романив О.Н. и др. К.: Наукова думка, 1990.

Додаткова література:



1. Феодосьев В.И. Десять лекций – бесед по сопротивлению материалов. М. Наука. 1999.
2. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник. Под редакцией И.А. Биргера. М.: Машиностроение. 1968.
3. Деградація сталей в агресивних середовищах, залишковий ресурс обладнання і корозійний моніторинг. Монографія. Архипов О. Г. і інш. Северодонецьк: Вид.-во СНУ ім. В. Даля. 2016
4. Справочник по сопротивлению материалов. Писаренко Г.С. и др. К.: Наукова думка. 1988.
5. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985.
6. Технічна діагностика матеріалів і конструкцій. Довідковий посібник. За редакції В.Ш. Похмурського. Львів: Вид-во «Простір-М». 2017.
7. Зміна структури і механічних характеристик як показники деградації металу в корозійно-активному середовищі. Архипов О.Г. Стаття. Фізико-хімічна механіка матеріалів. Спец. випуск №10, Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. -Львів, 2014.

Електронні ресурси:

1. Сайт НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" <http://kpi.ua>.
2. Сайт ІАТ <http://iat.kpi.ua>.
3. Сайт каф. АРБ <http://kpi.ua/arb>.

Обов'язковими для прочитання є розділи з наведеної базової, що тематично відповідають лекційному матеріалу. Факультативними з базової літератури є джерела 4. З додаткової літератури факультативними є джерела 2, 4, 5.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Дисципліна розрахована на один семестр. Аудиторне навантаження складається з лекцій – 18 ак. год. і практичні заняття - 36 ак. год. Аудиторні заняття рівномірно розподілені протягом семестру, що дозволяє здобувачам вищої освіти планомірно організовувати і планувати свою роботу.

Теоретична частина складається з 3 логічно пов'язаних тематичних розділів: 1 – Основи будови металів (тема 1.1); 2 – Механізм і динаміка втомних руйнувань (теми 2.1 2.2); 3 - Експлуатаційна деградація металів і її чинники (теми 3.1, 3.2, 3.3). Для підготовки до 1 розділу рекомендовано спиратися на джерела 1, 2 з числа базової літератури і джерела 1, 4 з числа додаткової літератури. Для підготовки до 2 розділу рекомендовано спиратися на джерела 1, 4, 5 з числа базової літератури і джерела 2, 4, 5 з числа додаткової літератури. Для підготовки до 3 розділу рекомендовано спиратися на джерела 1, 3, 5 з числа базової літератури і джерела 3, 7 з числа додаткової літератури.

Метою лекцій з дисципліни «Механіка руйнування і залишковий ресурс» є набуття теоретичних знань з міцності конструкцій авіакосмічної техніки з врахуванням втомних процесів, що протікають в певному середовищі і температурному полі. Складність і неоднозначність втомних процесів, відсутність на цей час сталої теорії (її малоймовірність її появи в близькому майбутньому) вимагають проблемного характеру вивчення. Це передбачає варіативний підхід до складних процесів і вимагає від здобувачів вищої освіти широкої ерудиції і розуміння



взаємозв'язку міцності конструкції з технологією виготовлення, режимів навантаження, структури металів тощо.

Лекція 1: Фізичні основи надійності металевих матеріалів (Тема 1.1)

Лекція 2: Поняття про втому металів, особливості її протікання (Тема 2.1)

Лекція 3: Корозійно-механічна втома металів (Тема 2.1)

Лекція 4: Механіка втомного руйнування. Теорія Гріффітса (Тема 2.2)

Лекція 5: Динаміка руйнування конструкц. і експлуатаційна деградація (Тема 2.2)

Лекція 6: Оцінювання експлуатаційної деградації структурними змінами металу (Тема 3.1)

Лекція 7: Наводнювання металів і експлуатаційна деградація металів (Тема 3.2)

Лекція 8: Корозія металів, механізм електрохімічної корозії (Тема 3.3)

Лекція 9: Корозія агрегатів і умови її протікання (Тема 3.3)

Метою практичних занять є закріплення на практиці знань, отриманих на лекціях і набуття професійних знань з практичного використання теоретичного багажу. Студенти знайомляться з будовою металів, змінами що відбуваються зі структурою металів протягом тривалої експлуатації. Вивчають особливості протікання втомних процесів в металах і сплавах і опановують методики визначення залишкового ресурса за зміною механічних характеристик і досліджують динаміку розвитку тріщин. Кожне практичне заняття проводиться протягом 2 ак. год. Практичні заняття рівномірно розподілені протягом навчального семестра і тематично пов'язані з лекційним матеріалом.

Тематика практичних занять:

Практичне заняття 1. Особливості будови металів, структурні моделі, фазовий склад. (Тема 1.1)

Практичне заняття 2. Циклічні навантаження, характеристики циклу. Діограми Вьолера і граничних амплітуд (Тема 2.1)

Практичне заняття 3. Малоциклова втома. Рівняння Менсона-Коффина (Тема 2.1)

Практичне заняття 4. Концентратори напружень, побудова діограми граничних амплітуд з врахуванням коефіцієнта концентрації (Тема 2.1)

Практичне заняття 5. Метод Пітерсона. Визначення залишкового ресурсу за багатоциклового навантаження (Тема 2.1)

Практичне заняття 6. Визначення залишкового ресурсу з врахуванням дії агресивного середовища (Тема 2.2)

Практичне заняття 7. Моделі тіла з тріщинами, критерії руйнування (Тема 2.2)

Практичне заняття 8. Модель Гріффітса –Орована- Ірвіна (Тема 2.2)

Практичне заняття 9. Розрахунок і вимірювання коефіцієнтів інтенсивності напружень (Тема 2.2)

Практичне заняття 10. В'язкізкість руйнування (Тема 2.2)

Практичне заняття 11. Кінетика росту тріщин в полімерних матеріалах (Тема 2.2)

Практичне заняття 12. Механіка корозійного і корозійно-механічного руйнування (Тема 2.2)



Практичне заняття 13. Оцінювання експлуатаційної деградації механічними характеристиками (Тема 3.1)

Практичне заняття 14. Оцінювання експлуатаційної деградації змінами структури металу (Тема 3.2)

Практичне заняття 15. Визначення залишкового ресурсу методикою V31G, методом Газюні і Рітженса (Тема 3.2)

Практичне заняття 16. Визначення залишкового ресурсу потенціометричним методом (Тема 3.3)

Практичне заняття 17. Визначення залишкового ресурсу імпульсним методом (Тема 3.3)

Практичне заняття 18. Підсумкове заняття

Календарний план організації навчального процесу представлено в Таблиці 1.

Таблиця 1

№ тижня	№ лекції	№ практичного заняття
1	Лекція 1	Практичне заняття 1
2		Практичне заняття 2
3	Лекція 2	Практичне заняття 3
4		Практичне заняття 4
5	Лекція 3	Практичне заняття 5
6		Практичне заняття 6
7	Лекція 4	Практичне заняття 7
8		Практичне заняття 8
9	Лекція 5	Практичне заняття 9
10		Практичне заняття 10
11	Лекція 6	Практичне заняття 11
12		Практичне заняття 12
13	Лекція 7	Практичне заняття 13
14		Практичне заняття 14
15	Лекція 8	Практичне заняття 15
16		Практичне заняття 16
17	Лекція 9	Практичне заняття 17
18		Практичне заняття 18

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Обсяг самостійної роботи протягом семестру складає 66 ак. год. Структура самостійної роботи наступна.

На самостійне опрацювання виносяться наступні теми лекцій:



Лекція 1. Предмет і задачі курсу. Місце дисципліни «Механіка руйнувань і залишковий ресурс» серед інших дисциплін орієнтованих на розрахунок міцності і жорсткості конструкцій (2 ак. год.).

Лекція 2. Методика переходу від реальної конструкції до розрахункової схеми (2 ак. год.).

Лекція 3. Стійкість механічних конструкцій (4 ак. год.).

Протягом вивчення дисципліни студенти виконують індивідуальне завдання (розрахунково-графічну роботу) визначення залишкового ресурсу елемента конструкції літального апарата з тріщиною певної конфігурації і розміру в заданому температурному діапазоні (12 ак. год.).

Підготовка до аудиторних занять (12 ак. год.).

Проведення розрахунків первинних даних отриманих на практичних заняттях (25 ак. год.)

Підготовка до екзамену (9 ак. год.)

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекцій і лабораторних робіт є обов'язковим і здійснюється за затвердженим розкладом або згідно з індивідуальним планом здобувача вищої освіти. В разі пропущення з поважних причин лекцій студент опрацьовує її електронний варіант і викладає основні положення у короткому рефераті. Відпрацювання пропущених лабораторних робіт проводиться наприкінці семестру за окремим затвердженим графіком.

На аудиторних заняттях мобільні телефони мають бути відключені. Складні моменти тем, що виносяться на лекції можуть доручатися здобувачам вищої освіти для підготовки коротких доповідей або дискусійних питань до обговорень з метою збільшення активності слухачів.

Лабораторні роботи захищаються під час виконання чергової лабораторної роботи у вигляді звітів з відповіддю на контрольні запитання. Пропущені лабораторні роботи проводяться і захищаються за окремим графіком в кінці семестру.

Розрахунково-графічна робота видається на початку семестра індивідуально кожному окремо і захищається у вигляді письмово виконаної роботи, що містить розрахунки і необхідний графічний матеріал (рисунок, графіки тощо) індивідуально за окремим графіком.

Використовує наступні правила заохочувальних і штрафних балів.

За участь в інститутській олімпіаді з дисципліни нараховується 5 балів, за роботу з удосконалення дидактичного матеріалу з дисципліни нараховується 5 балів, за активну участь в обговоренні складних тем +1...4 балів.

За відсутність на практичному занятті без поважних причин знімається 2 бали. В разі визначення плагіату при виконанні контрольної роботи, або не самостійного виконання задач практичних занять їх результати анулюються.

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

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за наступне:

- виконання і відповіді на практичних заняттях;
- виконання контрольної роботи;
- відповіді на екзамені.



Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

### 1. Практичні семінари

Ваговий бал – 2.

Максимальна кількість балів дорівнює 2 балів x 18 = 36 бали.

Критерії оцінювання:

повне виконання завдання – 2;

виконання, але теоретичні знання недостатні – 1;

не підготовлений – 0.

### 2. Індивідуальне завдання

Ваговий бал – 8.

Максимальна кількість балів дорівнює 8 балів x 1 = 8 балів.

Критерії оцінювання:

повне виконання завдання – 8;

неповне виконання завдання – 3...6;

незадовільне виконання – 0.

Штрафні та заохочувальні бали:

творчий підхід до роботи, активна участь в обговоренні тем, самостійний пошук тем: +1...4 балів;

відсутність пропусків лекцій без поважних причин: +2...4 бали;

відсутність на практичному занятті без поважної причини: –2 бал.

Максимальна кількість заохочувальних та штрафних балів дорівнює 4.

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_C = 36 + 8 = 44 \text{ бали.}$$

Необхідною умовою допуску до екзамену є виконання усіх практичних занять та КР.

### 3. Екзамен

Екзаменаційна складова шкали дорівнює 56 % від R, а саме 56 балів, і складається з теоретичної частини, що містить два питання з різних тем.

За кожне питання питання за умови вільного володіння матеріалом, відповіді на усі додаткові питання – 28 балів;

досить впевнене володіння матеріалом, неповні відповіді на додаткові питання – 20 балів;

непевнена відповідь на основне питання, не має відповіді на додаткові питання – 10 балів;

не має відповіді на основне питання – 0 балів.

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає

$$R = R_C + R_E = 44 + 56 = 100 \text{ балів.}$$

Умови позитивної проміжної атестації у семестрі.

Для отримання "зараховано" з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент матиме не менш, ніж 12 балів ( за умови, якщо на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів "ідеальний" студент має отримати 20 балів).

Для отримання "зараховано" з другої проміжної атестації (14 тиждень) студент матиме не менш, ніж 24 бали ( за умови, якщо на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів "ідеальний" студент має отримати 40 балів).



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

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль.

1. Поняття про макро – та мікроструктуру металу, види кристалічних структур металу
2. Дислокації. Крайова і гвинтова дислокації, їх характеристики
3. Рух дислокацій, схема генерування дислокацій із джерела Франка – Ріда
4. Стадійність об'ємної пошкоджуваності як зміна в часі щільності розсіяних дефектів і утворення мікротріщин
5. Діограма граничних амплітуд, характеристики циклу
6. Вплив експлуатаційних чинників на втому матеріалу
7. Теорія Петча – Холла як складова теорії пошкоджуваності
8. Корозійна втома авіаційних конструкцій
9. Напруження в околі тріщини, енергетична теорія Гріффітса
10. Поняття про критичну довжину втомної тріщини
11. Деградація конструкційного матеріалу, деградація конструкції, експлуатаційна деградація
12. Оцінювання деградації структурними змінами металу і мікропошкодженнями
13. Механічні характеристики як показники ступені деградації, оцінювання їх чутливості
14. Критерії Рітженса, Газюні, В31G для оцінювання ступені пошкоджуваності конструкції і прогнозування залишкового ресурсу
15. Наводнювання металів
16. Криві Нельсона як оцінювач стійкості до наводнювання металу, роль легуючих елементів
17. Поняття про корозію металів, види корозії
18. Механізм електрохімічної корозії, її реалізація в аерокосмічній техніці
19. Методи вимірювання корозії і корозійних пошкоджень
20. Фретинг-корозія і піттинг в авіаційній техніці
21. Методи захисту від корозії металів і сплавів
22. Вплив технології виготовлення на корозійну тривкість
23. Раціональне конструювання як фактор підвищення корозійної тривкості і подовження ресурсу
24. Сучасні електрохімічні методи корозійного контролю
25. Використання потенціометричного методу для визначення залишкового ресурсу
26. Використання імпульсного методу для визначення залишкового ресурсу
27. Магнітні методи визначення тріщин і інших дефектів в металі
28. Вихрострумний контроль для визначення втомних тріщин в металі
29. Ультразвуковий контроль внутрішніх дефектів авіаційних конструкцій
30. Акустичні методи контролю стану металу конструкцій ЛА
31. Визначення внутрішніх дефектів тепловими методами





Дисципліна «Механіка руйнування і залишковий ресурс» відноситься до сучасних проблемно орієнтованих дисциплін, яка знаходиться на етапі становлення. Цей етап відрізняється різноманітністю підходів і можливістю активного творчого ставлення від дослідників з можливістю впливати на подальший розвиток дисципліни. Такі умови передбачають використання при опануванні дисципліни не лише запропонованої літератури, а і сучасних наукових статей, монографій і інших сучасних джерел інформації.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** професором кафедри АРБ д.т.н., професором Архиповим Олександром Геннадійовичем

**Ухвалено** кафедрою авіа та ракетобудування (протокол № 11 від 17.06.20)

**Погоджено** Методичною комісією ІАТ (протокол № 2 від 22.06.20)