



# Фізико-механічні процеси в матеріалах і конструкціях при імпульсних навантаженнях

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Технології виробництва літальних апаратів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	<i><a href="https://schedule.kpi.ua/lecturers?lecturerId=e52b91f8-758e-44c9-9145-7905f7473d5e">https://schedule.kpi.ua/lecturers?lecturerId=e52b91f8-758e-44c9-9145-7905f7473d5e</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н. Кузьмов Андрій Васильович, kavipms326@gmail.com Практичні / Семінарські: - Лабораторні: к.т.н. Кузьмов Андрій Васильович
Розміщення курсу	<i><a href="https://ecampus.kpi.ua">https://ecampus.kpi.ua</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

##### *Мета навчальної дисципліни.*

Метою викладання курсу «Фізико-механічні процеси в матеріалах і конструкціях при імпульсних навантаженнях» за спеціальністю 131 Прикладна механіка є формування у студентів сучасних уявлень про фізичну природу деформування та руйнування матеріалів та конструкцій під дією ударних, імпульсних та інших видах динамічних навантажень. Розглянуто базові поняття розповсюдження пружних хвиль, концентрації динамічних напружень, гідродинамічної теорії кумуляції. Студенти ознайомлюються зі схемами випробування матеріалів на міцність при динамічних навантаженнях. Викладаються також методи оцінки розміру уламків при розриві осколково-фугасного снаряду та розрахунку допустимих параметрів кумулятивної облицювання в залежності від матеріалу та товщини броні, що пробивається.

##### *Основні завдання навчальної дисципліни.*

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

з особливостей поведінки металу при високошвидкісному навантаженні

уміння:

- проведення досліджень з визначення міцності та тріщиностійкості матеріалів при динамічному навантаженні

досвід:

- з умов вибору матеріалів і конструкцій, які працездатні під дією динамічних навантажень.

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

Навчальна дисципліни є базовою у підготовці фахівців спеціалізації «Технології озброєння та засобів безпеки». Вона дає розуміння фізико-механічних процесів що відбуваються при функціонуванні вогнепальної зброї, використанні засобів враження та захисту від них. Отримані знання та навички після засвоєння кредитного модуля використовуються при вивченні дисциплін «Складання, контроль та випробування стрілецько-артилерійського озброєння та набоїв», «Основи відновлення та утилізації набоїв та стволів стрілецько-артилерійського озброєння», «Виробництво артилерійських стволів», «Основи внутрішньої та зовнішньої балістики ствольних систем» та виконанні магістерських дисертаційних робіт.

## 3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні (комп'ютерний практикум)	СРС
<b>Розділ 1. Класифікація та фізико-механічні засади процесів імпульсного навантаження.</b>					
<i>Тема 1. Класифікація імпульсних навантажень.</i>	14	4	-	6	4
<i>Тема 2. Поширення пружних хвиль в твердих тілах.</i>	30	10		12	8
<i>Контрольна робота 1</i>	5	1			4
<b>Розділ 2. Руйнування матеріалів при імпульсному навантаженні та методи його вимірювання</b>					
<i>Тема 3. Міцність та пластичність при імпульсних навантаженнях.</i>	30	6		6	18
<i>Тема 4. Руйнування та тріщиностійкість при імпульсному навантаженні</i>	20	6		6	8
<b>Розділ 3. Деякі механізми пробиття броні</b>					
<i>Тема 5. Деякі механізми пробиття броні</i>	26	8		6	12
<i>Контрольна робота 2</i>	5	1			4
<i>Підготовка до екзамену</i>					12
<i>Екзамен</i>	4				
<b>Всього годин</b>	134	36		36	70

## Лабораторні роботи:

Метою лабораторних робіт є підтвердження засвоєння теоретичного матеріалу, прочитаного на лекціях, та вміння використовувати його для практичних розрахунків пов'язаних з руйнуванням при динамічному навантаженні та бронепробиттям. Лабораторні роботи присвячені розділам 1, 2 та 3.

Їх перелік:

Лабораторна робота №1. Оцінка виникнення незворотних пластичних деформацій при різних видах імпульсного навантаження: ударі твердих тіл, приповехневому нагріві, пондеромоторних силах в провідниках. (Робота стосується теми 1).

Лабораторна робота №2. Прогнозування пошкодження матеріалу внаслідок концентрації динамічних напружень біля отворів.(Робота стосується теми 2).

Лабораторна робота №3. Прогнозування пошкодження матеріалу внаслідок концентрації динамічних напружень біля жорстких включень. (Робота стосується теми 2).

Лабораторна робота №4. Розрахунок параметрів оснастки та зразка при випробуванні матеріалів на динамічний розтяг в копрах. (Робота стосується теми 3).

Лабораторна робота №5. Оцінка розміру уламків при розриві осколково-фугасного снаряду (Робота стосується теми 4).

Лабораторна робота №6. Розрахунок допустимих параметрів кумулятивної облицьовки в залежності від матеріалу та товщини броні, що пробивається. (Робота стосується теми 5).

## 4. Навчальні матеріали та ресурси

### Базова

1. *Степанов Г.В., Маковей В.А.* Прочность, разрушение и трещиностойкость материалов и конструкций при импульсных нагрузках.- К.: НТУУ «КПИ», 2016.- 333с.
2. *В.В. Божидарник, Г.Т. Сулим* Елементи теорії пружності - Львів : Світ, 1994. - 560 с
3. *Лаврентьев М.А., Шабат Б.В.,* Методы теории функций комплексного переменного, 5-е изд., Наука, М., 1987

### Допоміжна

4. *Тітов В.А..* Високошвидкісні методи обробки металів тиском/ *В.А. Тітов, Ю.Є. Шамарін, А. І. Долматов, В. К, Борисевич, В.О. Маковей, В.М.. Алексеенко* - Київ.: КВІЦ, 2010. - 303 с.
5. *Эпштейн Г.И.* Строение металлов, деформированных взрывом. - М,,: *Металлургия.* – 280 с.
6. *Владимиров В.С.,* Уравнения математической физики, 3-е изд., *Наука, М., 1976, 528 с.*
7. *Лаврентьев М. А.* Кумулятивный заряд и принципы его работы // *Успехи мат. наук.* 1957. Т. 12, № 4. С. 41–52.
8. *Кинеловский С. А., Тришин Ю. А.* Физические аспекты кумуляции // *Физика горения и взрыва.* 1980. Т. 16, № 5. С. 26–40

## Навчальний контент

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

**Тема 1. Класифікація імпульсних навантажень. Фізичні процеси при різних типах імпульсних навантажень.**

Лекція 1. Імпульсні навантаження в техніці і технологіях

Лекція 2. Класифікація імпульсних навантажень .

Лекція.3. Поздовжні коливання стержня. Розв'язок Даламбера. Поняття про хвилі.

Лекція.4. Відбиття хвиль від закріпленої та вільної границі. Передній та задній фронт для різних типів хвиль.

Лекція.5. Хвилі високого тиску. Розповсюдження хвиль напружень великої інтенсивності в твердому тілі. Особливості пластичної деформації при високих інтенсивностях напружень.

## **Тема 2. Поширення пружних хвиль в твердих тілах. Елементи хвильової механіки.**

Лекція 6. Динамічна задача теорії пружності. Хвилі розширення та хвилі зсуву.

Лекція 7. Кінематичні умови на фронті хвилі.

Лекція 8. Динамічні умови на фронті хвилі. Швидкість удару для пластичної деформації.

Лекція 9. Поняття про плоскі хвилі. Поздовжні та поперечні хвилі. Перенесення енергії хвилями.

Лекція 10. Концентрація динамічних напружень біля круглого отвору та жорсткого включення

## **Тема 3. Міцність та пластичність при імпульсних навантаженнях .**

Лекція 11. Експериментальні дослідження міцності та пластичності при імпульсному навантаженні.

Лекція 12. Забезпечення однорідності напружено-деформованого стану в зразку для випробувань на розтяг . Обмеження на довжину та діаметр зразка.

Лекція 13. Типи копрів для випробувань на розтяг. Ступінчасті стержні-хвильоводи.

Лекція 14. Вплив швидкості навантаження на міцність та пластичність в сталях.

Лекція 15. Деформування і руйнування матеріалів в пружно-пластичних хвилях навантаження.

## **Тема 4. Руйнування та тріщиностійкість при імпульсному навантаженні**

Лекція 16. Характеристики тріщиностійкості матеріалів

Лекція 17. Методики випробувань на динамічну тріщиностійкість

Лекція 18. Тріщиностійкість матеріалів при динамічному навантаженні

## **Тема 5. Деякі механізми пробиття броні**

Лекція 19. Фізико-механічні процеси при пробиванні броньових перешкод снарядами

Лекція 20. Кумулятивний ефект пробиття перешкод при використанні конічних облицьовок. Гідродинамічна теорія кумуляції. Співвідношення між швидкостями та густинами при зіткненні двох струменів.

Лекція 21. Формування кумулятивного струменя. Вплив кута конічної облицьовки на діаметр та швидкість кумулятивного струменя.

Лекція 22. Вплив довжини та густини кумулятивного струменя чи високошвидкісного снаряду та густини броні на глибину пробиття. Переваги алюмінієвої броні.

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Виносяться наступні теми для самостійного опрацювання, як підготовка до аудиторних занять. Перелік тем наведено в таблиці.

№ з/п	Назва теми, що виносяться на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Основні способи випробувань матеріалів на розтяг та стиск при динамічному навантаженні.	2
2	Порівняння основних способів випробувань при динамічному та статичному навантаженнях.	2
3	Особливості пластичної деформації при високих інтенсивностях напружень.	4
4	Розглянути розповсюдження пружних хвиль в стержні, поздовжні і поперечні хвилі напружень.	4
5	Розглянути розповсюдження хвиль напружень великої інтенсивності.	4
6	Зв'язок процесів навантаження і деформації при статичному і динамічному навантаженні.	4
7	Особливості швидкісного деформування металів	4
8	Основні методики досліджень міцності та пластичності при імпульсному навантаженні.	6
9	Основні методики визначення тріщиностійкості матеріалів при динамічному навантаженні	4
10	Порівняння тріщиностійкості матеріалів при динамічному і статичному навантаженнях.	4
11	Безвихрова течія ідеальної нестисливої рідини. Інтеграл Бернуллі.	4
12	Порівняння швидкостей поздовжніх хвиль в стержні, пластині та в просторі	4
13	Основні методики та параметри пробивання броньових плит.	4
14	Знаходження довжини та швидкості кумулятивного струменя за допомогою гідродинамічної теорії кумуляції	4

## Політика та контроль

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

Оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти проводиться на основі рейтингової системи. В основу рейтингової системи оцінювання (PCO) результатів навчання покладено поопераційний контроль за визначеними критеріями і накопичення рейтингових балів за різнобічну навчально-пізнавальну та практичну діяльність у процесі навчання. PCO передбачає оцінювання результатів навчальної діяльності впродовж семестру – проходження або виконання

певних видів робіт, передбачених заходами поточного контролю. Результати поточного контролю регулярно заносяться викладачем у модуль «Поточний контроль» Електронного кампусу.

Календарний контроль проводиться два рази впродовж навчального семестру для визначення рівня відповідності поточних досягнень встановленим і визначеним в РСО критеріям. Результати календарного контролю заносяться викладачем у модуль «Календарний контроль» Електронного кампусу.

Оцінювання результатів навчання здійснюється за 100 бальною шкалою з подальшим переведенням до оцінок за університетською шкалою.

Якщо здобувач не проходив або не з'явився на контрольний захід його результат оцінюється у 0 балів.

Заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не може перевищувати 10% рейтингової шкали.

Штрафні бали передбачені тільки за несвоєчасний захист або несвоєчасне виконання індивідуального семестрового завдання. Присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті не оцінюється, в тому числі не нараховуються заохочувальні або штрафні бали.

Здобувач не допускається до екзамену, якщо не виконав визначені РСО умови допуску.

На екзаменаційну контрольну роботу здобувач зобов'язаний надавати залікову книжку, або документ, що посвідчує особу. В іншому разі, здобувач до екзамену не допускається

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

*Поточний контроль: опитування за темою заняття, лабораторні роботи, МКР*

*Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.*

*Семестровий контроль: зекзамен*

*Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 20 балів та виконані всі лаб. роботи.*

Семестровий контроль заплановано у вигляді екзамену, при цьому 100-бальна шкала оцінювання поділяється на дві складові. Перша складова (*семестровий рейтинг*) складає 40 балів (без заохочувальних балів). Друга складова 60 балів (екзаменаційна шкала) призначена для оцінювання результатів навчання на екзамені .

Поточний семестровий контроль складається з шести лабораторних робіт, двох модульних контрольних робіт та заохочувальних балів (опитування самостійної роботи студента, тези, статті).

*(семестровий рейтинг) = 2(МКР)х14 + 6х2(лаб.завдання) +10(заохочувальні)*

*(семестровий рейтинг) < 20 – здобувач не допускається до екзамену.*

Оцінювання виконання лабораторних робіт:

- бездоганна робота – 2 бали;
- є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – 1 бал;
- Робота не виконана або не захищена –0 балів.

Заохочувальні бали:

1. Написання наукової статті згідно тематики дисципліни - 10;
2. Подання тез або матеріалів згідно тематики дисципліни до міжнародної науково-технічної конференції - 5 ;
4. Підготовка тем для самостійного опрацювання та зроблена доповідь - 1 (див. пункт б)

Дві одногодінокві письмові модульні контрольні роботи (МКР) проводяться з метою поточного контролю якості засвоєння здобувачем матеріалу по розділах дисципліни. МКР складається з двох питань. Кожне запитання оцінюється у 7 балів за такими критеріями: повна відповідь на питання (не менше 90% потрібної інформації) – 7 балів; достатньо повна відповідь на питання (не менше 75% потрібної інформації) або повна відповідь з незначними помилками – 5-7 балів;

неповна відповідь на питання (не менше 60% потрібної інформації) та є помилки – 3-5 балів;  
 не вірна відповідь на питання або здобувач не проходив, не з'явився на МКР– 0 балів.  
 Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю є значення поточного рейтингу здобувача не менше ніж 50 % від максимально можливого (без заохочувальних балів) на час проведення такого контролю тобто, для 1-го календарного контролю (*семестровий рейтинг*) > 10, для 2-го календарного контролю (*семестровий рейтинг*) > 20  
 Семестровий контроль проходить в формі екзамену. Перелік запитань наведений у додатку до силабусу.

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить три запитання. Перелік запитань наведений Кожне запитання оцінюється у 20 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 17-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 16-13 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 12-9 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Бали	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Є не зараховані лабораторні роботи або не зарахована розрахункова робота	Не допущено

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

1. Класифікація імпульсних навантажень.
2. Динамічна задача теорії пружності. Хвилі розширення та хвилі зсуву.
3. Кінематичні умови на фронті хвилі.
4. Динамічні умови на фронті хвилі.
5. Поняття про плоскі хвилі. Поздовжні та поперечні хвилі.
6. Поширення хвиль у стержні й пластині. Порівняння швидкостей поздовжніх хвиль .
7. Концентрація динамічних напружень біля круглого отвору.
8. Концентрація динамічних напружень біля круглого жорсткого диска .
9. Випробування на міцність та пластичність при імпульсному навантаженні. Квазістатичний

випадок деформування між двома масивними тілами. Вплив жорсткостей машини та динамометра.

10. Випробування на міцність та пластичність при імпульсному навантаженні. Випадок деформування між двома стержнями та стержнем і масивним тілом . Схема вертикального копра.
11. Випробування на міцність та пластичність при імпульсному навантаженні. Забезпечення однорідності напружено-деформованого стану в зразку. Обмеження на довжину та діаметр зразка.
12. Типи копрів для випробувань на розтяг. Ступінчасті стержні-хвильоводи. Схема вертикального копра зі ступінчастим стержнем-хвильоводом.
13. Типи зразків для випробувань на розтяг. Загальна характеристика впливу швидкості навантаження на міцність та пластичність в сталях.
14. Кумулятивний ефект пробиття перешкод при використанні конічних облицьовок. Гідродинамічна теорія кумуляції. Співвідношення між швидкостями та густинами при зіткненні двох струменів.
15. Формування кумулятивного струменя. Вплив кута конічної облицьовки на діаметр та швидкість кумулятивного струменя.
16. Вплив довжини та густини кумулятивного струменя чи високошвидкісного снаряду та густини броні на глибину пробиття. Переваги алюмінієвої броні.

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

**Складено** старший викладач, к.т.н. Кузьмов Андрій Васильович

**Ухвалено** кафедрою ТВЛА (протокол № 16 від 06.07.2022)

**Погоджено** Методичною комісією факультету<sub>1</sub> (протокол № 1 від 30.08.2022)