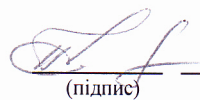


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
“Харківський авіаційний інститут”

Кафедра Міцності літальних апаратів (№ 102)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Керівник проектної групи

 П.О. Фомичов  
(підпис) (ініціали та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ  
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Стійкість і коливання пружних систем**  
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: \_\_\_\_\_ 13 Механічна інженерія \_\_\_\_\_  
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальності: \_\_\_\_\_ 131 Прикладна механіка, \_\_\_\_\_  
(код та найменування спеціальності)

\_\_\_\_\_ 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка \_\_\_\_\_  
Освітні програми: \_\_\_\_\_ Динаміка та міцність машин, \_\_\_\_\_  
(найменування освітньої програми)  
\_\_\_\_\_ Випробування та сертифікація літальних апаратів \_\_\_\_\_

**Форма навчання: денна**

**Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)**

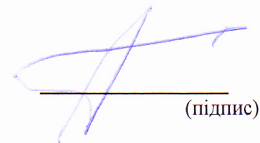
**Харків 2020 рік**

Робоча програма Стійкість і коливання пружних систем  
(назва дисципліни)  
для студентів за спеціальностями 131 Прикладна механіка,  
134Авіаційна та ракетно-космічна техніка,

освітніми програмами Динаміка та міцність машин, Випробування та серти-  
фікація літальних апаратів

« 27 » серпня 2020 р., – 12 с.

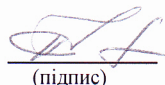
Розробник: доцент, к. т. н. В.М. Онищенко  
(прізвище та ініціали, посада, наукова ступінь та вчене звання)

  
(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри міцності літальних апаратів  
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 31 » серпня 2020 р.

Завідувач кафедри д. т. н., професор  
(наукова ступінь та вчене звання)

  
(підпис)

П. О. Фомичов  
(ініціали та прізвище)

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)		
Кількість кредитів 8	<p style="text-align: center;"><b><u>Галузь знань</u></b> 13 Механічна інженерія</p> <p style="text-align: center;"><b><u>Спеціальності</u></b> 131 Прикладна механіка, 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка</p> <p style="text-align: center;"><b><u>Освітні програми</u></b> Динаміка та міцність машин, Випробування та сертифікація літальних апаратів</p>	Цикл професійної підготовки (за вибором)		
Кількість модулів – 2		<b>Навчальний рік</b>		
Кількість змістовних модулів – 3		2020/2021		
Індивідуальне завдання - РГР		<b>Семестр</b>		
Загальна кількість годин – 240 96/144		5-й	6-й	
		<b>Лекції*</b>		
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 5		32 год.	16 год.	
		<b>Практичні, семінарські*</b>		
<b>Семестр 5</b>		16 год.	16 год.	
Аудиторних 48 год.		самост. роб. 72 год.	<b>Лабораторні*</b>	
<b>Семестр 6</b>		-	16 год.	
		<b>Самостійна робота</b>		
Аудиторних 48 год.	самост. роб. 72 год.	72 год.	72 год.	
		Індивідуальна робота		
		-	РГР	
		<b>Вид контролю</b>		
		залік	іспит	
<b>Рівень вищої освіти:</b> перший (бакалаврський)				

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:  
для денної форми навчання – 96/144

\* Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину залежно від розкладу занять.

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета вивчення** – дати студентам знання та уміння вирішення інженерних задач, пов'язаних з стійкістю, коливаннями, динамікою та міцністю елементів конструкцій, які виникають в процесі експлуатації ЛА.

**Завдання** – вивчення студентами основ теорії стійкості і механічних коливань пружних систем, динаміки навантаження конструкції ЛА, умінню формування розрахункових схем елементів конструкцій, які віддзеркалюють основні риси функціонування ЛА в процесі експлуатації.

Згідно з вимогами освітньо-професійних програм студенти повинні досягти таких **компетентностей**:

**Загальні компетентності:** здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу; здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

**Фахові компетентності:** здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і інженерних дисциплін; здатність здійснювати розрахунки елементів конструкцій на міцність.

**Програмні результати навчання:** володіти навичками визначення навантажень на конструктивні елементи авіаційної та ракетно-космічної техніки на усіх етапах її життєвого циклу, обчислювати напружено-деформований стан, визначати несійну здатність конструктивних елементів та надійність систем авіаційної та ракетно-космічної техніки, розуміння застосовуваних методик проектування і досліджень у сфері енергетичного машинобудування, що використовуються в експлуатації, ремонті та обслуговуванні об'єктів авіаційного транспорту, їх систем та елементів.

**Міждисциплінарні зв'язки:** вивчення даної дисципліни базується на знаннях і вміннях з вищої математики, теоретичної механіки і аеродинаміки, теорії пружності; використовується при вивченні дисциплін «Будівельна механіка», «Переддипломний курс», «Розрахунок ресурса авіаконструкцій», «Застосування ЕОМ у задачах механіки».

### **3. Програма навчальної дисципліни**

#### **Модуль 1.**

#### **Стійкість пружних систем**

##### **Змістовий модуль 1. Стійкість стрижневих систем**

###### **Тема 1. Стійкість систем і методи її визначення**

Загальні відомості про стійкість і коливання пружних систем. Основні поняття. Повна потенційна енергія системи. Умова рівноваги пружного тіла. Варіаційний принцип теорії пружної стійкості. Теорема Лагранжа про стійкість рівноваги консервативних систем. Стійкість системи з одним ступенем свободи. Діаграма рівноважних станів деформованої системи. Критерії стійкості рівноваги консервативної системи. Статичний критерій стійкості. Енергетичний критерій стійкості. Динамічний критерій стійкості. Точки біфуркації, граничні точки та критичні навантаження. Методи визначення критичних навантажень. Стійкість рівноваги системи з двома ступенями вільності.

###### **Тема 2. Стійкість пружних стрижневих систем**

Загальне рівняння пружної лінії при поздовжньому-поперечному згині стрижня. Стійкість та визначення критичної сили при різних закріпленнях кінців. Розрахунок рам на стійкість за допомогою метода переміщень. Застосування принципу можливих переміщень. Енергетичний критерій стійкості пружних стрижневих систем. Метод Ритца-Тимошенка. Метод Бубнова-Гальоркіна. Метод кінцевих різниць. Динамічний критерій стійкості. Стійкість стиснутих стрижнів за межами границі пружності. Стійкість стрижнів незамкненого профілю. Визначення критичної швидкості дивергенції консолі крила. Стійкість стрижня при динамічному навантаженні. Поняття про стійкість пластин та оболонок.

#### **Модуль 2.**

#### **Коливання систем з зосередженими та розподіленими параметрами**

##### **Змістовий модуль 2. Коливання систем з зосередженими параметрами**

###### **Тема 3. Вільні коливання системи з одним ступенем свободи.**

Основні поняття і визначення. Класифікація коливальних процесів і систем. Кінематика і динаміка коливань. Ступені вільності динамічної системи. Способи складання диференціальних рівнянь коливань. Розрахункові схеми несучих конструкцій. Вільні коливання лінійної консервативної системи. Вільні коливання з урахуванням тертя. Диференційні рівняння власних коливань. Частота власних коливань. Енергетичний метод. Метод Релея. Принцип віртуальної роботи. Види сил опору. Поняття еквівалентного в'язкого опору. Міри затухання коливань, логарифмічний декремент затухання.

###### **Тема 4. Вимушені коливання системи, що має одну ступінь свободи.**

Диференціальне рівняння вимушених коливань. Силове і кінематичне періодичне збудження. Дія незбалансованих мас. Статичне і динамічне балансування.

Резонанс системи з одним ступенем свободи. Амплітудно-частотна та фазово-частотна характеристики. Дія імпульсу сили і довільного збудження. Інтеграл Дюамеля. Захист від вібрацій. Критерій динамічності навантаження.

### **Тема 5. Системи зі скінченим числом ступенів свободи.**

Форми диференціальних рівняння власних коливань системи. Матриці коефіцієнтів піддатливості та жорсткості. Матриця жорсткості для балки. Розв'язання рівнянь вільних коливань. Рівняння Лагранжа. Головні координати системи з  $n$  ступенями вільності. Віртуальна робота. Узагальнена сила. Узагальнена маса. Частоти та форми власних коливань, їх властивості. Варіаційні принципи в теорії коливань. Вільні коливання дисипативних систем. Вимушені коливання без тертя. Вимушені коливання дисипативних систем. Матричний запис рівнянь руху. Амплітудно-частотна характеристика. Поняття про метод скінчених елементів. Динамічний гасник коливань.

## **Змістовий модуль 3. Коливання систем з розподіленими параметрами**

### **Тема 6. Розрахунок коливань стрижнів.**

Згинні, крутильні та поздовжні коливання стрижнів. Диференціальні рівняння коливань. Граничні і початкові умови. Частоти та форми власних коливань. Вимушені поперечні коливання балки з урахуванням тертя. Частоти та форми коливань. Метод Релея. Метод Релея-Рітца. Метод Бубнова-Гальоркіна. Реакція балки на дію розподіленого навантаження. Коливання пластин та оболонок. Випадкові коливання.

### **Тема 7. Автоколивання.**

Параметричні коливання і автоколивання. Особливості і класифікація нелінійних систем з одним ступенем вільності. Методи дослідження нелінійних систем. Особливості вимушених коливань у нелінійних системах. Класифікація автоколивальних систем і автоколивань. Метод фазової площини. Визначення амплітуди і частоти автоколивань. Приклади автоколивань типу флатера, шими, земного резонансу вертольота при експлуатації ЛА. Взаємодія пружних конструкцій з потоком. Поняття про дивергенцію і реверс несучих поверхонь. Поняття про флатер.

## **4. Структура навчальної дисципліни**

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
л		п	лаб	с.р.	
1	2	3	4	5	6
<b>Модуль 1</b>					
<b>Змістовний модуль 1. Стійкість стрижневих систем</b>					
Тема 1. Стійкість систем і методи її визначення	26	6	8		12

Тема 2 Стійкість пружних стрижневих систем	26	6	8		12
Разом за змістовим модулем 1	52	12	16		24
<b>Модуль 2</b>					
<b>Змістовний модуль 2. Коливання систем з зосередженими параметрами</b>					
Тема 3. Вільні коливання системи з одним ступенем свободи.	30	8	12		10
Тема 4 . Вимушені коливання системи, що має одну ступінь свободи.	34	6	6		22
Тема 5 . Системи зі скінченим числом ступенів свободи.	40	4	6		30
Разом за змістовим модулем 2	104	18	24		62
<b>Змістовний модуль 3. Коливання систем з розподіленими параметрами</b>					
Тема 6. Розрахунок коливань стрижнів.	56	10		6	34
Тема 7. Автоколивання.	42	8		2	24
Разом за змістовим модулем 3	98	18		8	58
Усього годин	240	48	32	16	144

### 5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Не плануються	

### 6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Стійкість положення рівноваги системи з одним ступенем свободи. Визначення критичної сили.	2
2	Визначення критичної сили системи з двома ступенями свободи	2
3	Визначення критичної сили подкоса крила методом Рітца-Тимошенко і Бубнова-Гальоркіна	2
4	Визначення критичної сили стрижня при поздовжньо-поперечному згині	2
5	Кінематика коливань. Періодичний рух системи і ряд Фур'є.	2
6	Визначення частоти власних коливань механічної системи з одним ступенем свободи	2
7	Застосування методів Релея та Рітца при визначенні частоти власних коливань	2
8	Вимушені коливання механічної системи, що викликані незбалансованою масою.	2

9	Визначення напружень в пружній системі при сталих коливаннях	4
10	Вимушені коливання ЛА як системи з одним ступенем свободи при русі по нерівному аеродромі	4
11	Вільні коливання ЛА як системи з декількома степенями свободи. Розрахунок частот і форм власних коливань. Вплив початкових умов.	4
12	Вимушені коливання крила як системи з декількома степенями свободи при ударі ЛА. Амплітудно-частотна та фазово-частотна характеристики.	4
Разом		32

### 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Визначення критичної швидкості дивергенції та динамічної реакції консолі крила великого подовження на дію атмосферної турбулентності.	16

### 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Стійкість стиснутого стрижня в межах пружності. Формула Ейлера (Теми 1, 2)	4
2	Форми рівноваги стрижня в закритичній області (Теми 1, 2)	8
3	Принцип можливих переміщень в задачах стійкості (Теми 1, 2)	6
4	Повна потенційна енергія пружної системи (Теми 1, 2)	6
5	Стійкість неконсервативної системи (Тема 2)	6
6	Стійкість стиснутих стрижнів за границею пружності (Тема 2)	8
7	Стійкість стиснутих стрижнів при дії розподіленого навантаження (Тема 2)	4
8	Стійкість пластин. Енергетичний критерій стійкості. Вплив умов закріплення кромки на стійкість пластинки при стисканні (Тема 2)	6
9	Стійкість прямокутних пластинок при стисканні за межею пропорційності. Стійкість пластини при зсуві. Стійкість пластини при сумісній дії стискання та зсуву (Тема 2)	6



10	Стійкість оболонок. Стійкість циліндричних оболонок. Рівняння рівноваги. Рівняння стійкості для циліндричної оболонки (Тема 2)	6
11	Стійкість циліндричної оболонки при осьовому стисканні, крученні і дії зовнішнього тиску. Стійкість циліндричної оболонки при згині. Поняття про стійкість пластин та оболонок при динамічному навантаженні (Тема 2)	6
12	Розкладання періодичної функції в ряд Фур'є (Тема 3)	4
13	Вільні коливання при докритичному, критичному і закритичному коефіцієнті демпфування (Тема 3)	8
14	Коливання при кулоновому терті (Тема 3)	4
15	Вимушені коливання динамічної системи, що має одну ступінь свободи при гармонічному силовому збудженні. Векторна діаграма сил (Тема 4)	8
16	Вимушені коливання динамічної системи при масовому дисбалансі (Тема 4)	6
17	Статичне та динамічне балансування ротора (Тема 4)	6
18	Динамічна реакція системи на імпульс сили і довільне збудження (Тема 4)	6
19	Вільні крутильні коливання двомасової системи. Матричний запис рівнянь руху. Матриця мас і жорсткості (Тема 5)	6
20	Вплив початкових умов на вільні коливання двомасової системи (Тема 5)	4
21	Вільні коливання твердого ЛА на пружному шасі. Вибір узагальнених координат (Тема 5)	8
22	Аналіз роботи динамічного гасника коливань (Тема 5)	6
23	Нелінійні системи з одним ступенем вільності (Тема 6)	6
24	Параметричні коливання (Тема 7)	6
25	Розрахунок коливань стрижнів (Тема 7)	6
26	Автоколивання (Тема 7)	8
	<b>Разом</b>	<b>96</b>

### 9. Індивідуальні завдання

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	Визначення критичної швидкості дивергенції та динамічної реакції консолі крила великого подовження на дію атмосферної турбулентності	48

### 10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, лабораторних робіт, індивідуальних консультацій, самостійна робота студентів.

## 11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, фінальний контроль у вигляді іспита.

## 12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
<b>Змістовний модуль 1</b>			
Робота на лекціях	0...1	5	0...5
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	0...5	4	0...20
Модульний контроль	0...15	1	0...15
<b>Змістовний модуль 2</b>			
Робота на лекціях	0...1	7	0...7
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	0...5	4	0...20
Виконання і захист РГР	0...30	1	0...30
<b>Усього за семестр</b>			<b>0...100</b>

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з чотирьох теоретичних питань, кожне яких оцінюється в двадцять п'ять балів.

### 12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки: основні відомості про поведінку матеріалів в різних умовах навантаження; основні механічні характеристики матеріалів і методи їх визначення; знати аналіз напруженого і деформованого стану в точці тіла; основи інженерних методів розрахунків елементів конструкції на міцність, жорсткість і стійкість; знати енергетичні методи дослідження поведінки елементів конструкцій; знати розрахункові схеми при аналізі НДС оболонок.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки: основні: застосовувати розрахункові схеми конструктивних елементів; вміти будувати епюри внутрішніх силових факторів; знаходити положення небезпечних перерізів і небезпечних точок перерізів; вибирати теорії міцності при складному навантаженні твердих тіл; знаходити геометричні характеристики перерізів і безпечні їх розміри; вміти ставити задачу дослідження НДС конструктивного елемента і розв'язувати її.

## 12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Показати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи та домашні завдання. Знати: основні етапи сертифікації авіаційної техніки; структуру та зміст Норм льотної придатності; основні види випробувань авіаційної техніки при сертифікації.

**Добре (75-89).** Твердо знати мінімум знань. Показати вміння виконувати та захищати всі лабораторні роботи в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах. Знати: основні органи та організації, що приймають участь в сертифікації; основні етапи сертифікації авіаційної техніки; структуру та зміст Норм льотної придатності; основні види випробувань авіаційної техніки при сертифікації; умови для видачі Сертифікату типу, Сертифікату льотної придатності; умови сертифікації при авіаційної техніки що експортується або імпортується. Вміти: .

**Відмінно (90-100).** Здати всі контрольні точки з оцінкою «відмінно». Досконально знати всі теми з основного та додаткового матеріалу та уміти застосовувати їх.

### Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

## 13. Методичне забезпечення

1. Онищенко В.М. Вільні та вимушені коливання конструкції літального апарата з декількома степенями вільності. – Навчальний посібник, Харків: ХАИ, 2019. – 184 с.
2. Минтюк В.Б. Устойчивость упругих систем. Часть 1. Введение в теорию упругой устойчивости. -Учебное пособие, Харьков, ХАИ, 2008.- 40 с.
3. Онищенко В.М. Динамична реакція і навантаження літака при дії атмосферної турбулентності.- Навчальний посібник, Харків: ХАИ, 2018. – 176с.
4. Онищенко В.М. Расчет резонансной диаграммы лопасти несущего винта в процессе проектирования.- Учебное пособие, Харьков: ХАИ, 2017. – 106 с.

## 14. Рекомендована література

1. Кузнецов О.А. Динамические нагрузки на самолет [Текст] / О.А. Кузнецов. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2008. – 264 с.
2. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем.- М.: Гостехиздат, 1946.- 532 с.
3. Вольмир А.С. Устойчивость упругих систем.- М: Наука,1967.-984 с.

4. Алфутов Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем.- М.: Машиностроение, 1991.- 334 с.
5. Киселев В.А. Строительная механика. Специальный курс (динамика и устойчивость сооружений): Учебник. Изд. 2-ое, испр. и дополн. - М.: Изд. лит по строит-ву, 1969. - 432 с.
6. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний: Учебн. пособие для вузов. Изд-ие 3-е, перераб. – М.: Наука, 1991. - 255 с.
7. Светлицкий В.А., Стасенко И.В. Сборник задач по теории колебаний: Учебн. пособие. Изд-ие 2-е, перераб. М. : Высш. школа, 1979. - 365 с.
8. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. - М.: Высш. школа, 1972. - 418 с.

### **15. Інформаційні ресурси**

**Сайт кафедри [k102@d1.khai.edu](mailto:k102@d1.khai.edu)**