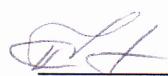


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
“Харківський авіаційний інститут”

Кафедра Міцності літальних апаратів (№ 102)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Керівник проектної групи



(підпис)

П.О. Фомичов

(ініціали та прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ  
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Аеропружність конструкцій**

(назва навчальної дисципліни)

**Галузь знань:** 13 Механічна інженерія

(шифр і найменування галузі знань)

**Спеціальність:** 131 Прикладна механіка

(код та найменування спеціальності)

**Спеціалізація:** Динаміка та міцність машин

(найменування спеціалізації)

**Рівень вищої освіти:** другий (магістерський)

**Харків 2020 рік**

Робоча програма Аеропружність конструкцій

(назва дисципліни)

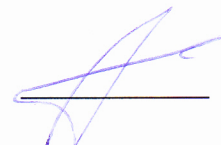
для студентів за спеціальностями 131 Прикладна механіка

освітніми програмами Динаміка та міцність машин,

« 27 » серпня 2020 р., – 11с.

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

<b>Найменування показників</b>	<b>Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень</b>	<b>Характеристика навчальної дисципліни</b>
		<b>Денна форма навчання</b>
Кількість кредитів – 5.0	<u><b>Галузь знань</b></u> 13 Механічна інженерія  <u><b>Спеціальності</b></u> 131 Прикладна механіка,  <u><b>Освітні програми</b></u> Динаміка та міцність машин,	Цикл професійної підготовки (за вибором)
Модулів – 1		<b>Навчальний рік</b> 2020/2021
Змістових модулів – 2		<b>Семестр</b>
Індивідуальне завдання - РГР		10-й
Загальна кількість годин – 32/118		<b>Лекції*</b>
		16 год.
		<b>Практичні, семінарські*</b>
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3,0 самостійної роботи студента – 4,5		-
	<b>Лабораторні*</b>	
	16	
	<b>Самостійна робота</b>	
	118 год.	
	<b>Індивідуальна робота</b>	
	РГР	
<b>Вид контролю</b>		
	іспит	

**Примітка.** Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: для денної форми навчання – 32/118.

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

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета вивчення** – підготовка магістрів до вирішення інженерних задач аеропружності щодо забезпечення необхідного рівня льотної придатності, міцності і довговічності, що виникають на стадіях проектування, виробництва і експлуатації повітряних суден.

**Завдання** - вивчення студентами вимог Норм льотної придатності, методів розрахунків навантажень та аеропружних характеристик конструкцій при експлуатаційних та розрахункових навантаженнях, визначення критеріїв міцності і довговічності, жорсткості та параметрів небезпечних коливань.

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. Аеропружність ЛА**

**Змістовний модуль 1. Основи аеропружності та механіка пружних систем**

**Тема 1. Основи механіки пружних систем**

Предмет вивчення і задачі дисципліни. Явища аеропружності. Класифікація явищ аеропружності. Статична та динамічна аеропружність. Деформація конструкції від дії статичних навантажень. Основні

співвідношення теорії пружності. Коефіцієнти впливу та жорсткості, їх властивості. Пружні властивості прямих та стрілоподібних крил великого подовження. Пружні властивості плоских та об'ємних систем. Види схематизації пружного ЛА.

### **Тема 2. Аеродинамічні моделі ЛА**

Аеродинамічні моделі ЛА. Наближені методи визначення аеродинамічних характеристик. Гіпотеза квазістаціонарності.

### **Тема 3. Динамічні характеристики ЛА**

Узагальнені координати та рівняння Лагранжа. Метод заданих форм. Власні форми коливань вільної пружної конструкції. Симетричні та кососиметричні форми власних коливань. Визначення нормальних функцій та частот власних коливань для пружних моделей різного рівня. Ортогональність власних форм.

### **Тема 4. Рівняння аеропружності. Динаміка та навантаження конструкції**

Рівняння лінійної нестационарної аеропружності. Диференціальне рівняння руху. Динамічні характеристики пружного ЛА. Динамічне навантаження конструкції. Вібрації літального апарату та його частин, їх види. Вимушені коливання. Автоколивання. Параметричні коливання.

## **Змістовний модуль 2. Дослідження явищ аеропружності**

### **Тема 5. Явища статичної аеропружності**

Статична аеропружність. Деформація прямого та стрілоподібного крила. Явище аеропружної дивергенції. Критична швидкість дивергенції прямого крила. Вплив параметрів на критичну швидкість дивергенції.

### **Тема 6. Ефективність несучих поверхонь**

Ефективність органів керування. Реверс елеронів. Критична швидкість реверса. Параметри, що впливають на реверс. Ефективність хвостового оперення. Статична стійкість пружного літака. Вплив пружності конструкції на стійкість та керованість ЛА.

### **Тема 7. Динамічна аеропружність**

Динамічна аеропружність. Власні коливання ЛА. Розрахункові моделі. Згинальні та крутильні коливання крила. Згинальні та крутильні коливання лопаті несучого гвинта. Сумісні згинно-крутильні коливання. Коливання вільного ЛА. Розрахунок форм та частот власних коливань. Фізичні основи флатеру. Види флатеру. Рівняння флатеру. Згинально-крутильний флатер крила. Згинально-елеронний флатер крила. Флатер несучого гвинта. Маховий

флатер. Критична швидкість флатеру. Параметри, що впливають на характеристики флатеру. Автоколивання вільно-орієнтованого колеса шасі типу шимі. Критична швидкість шимі. Параметри, що впливають на шимі.

### Тема 8. Аеропружні коливання

Динамічна аеропружна реакція літального апарату на зовнішній вплив. Динаміка літального апарату в умовах атмосферної турбулентності. Аеропружні коливання літального апарату при зривному обтіканні несучих поверхонь. Бафтинг, його види. Коливання ЛА при русі по нерівному аеродрому.

### Тема 9. Особливості аеропружності вертольота

Колівання лопаті несучого та рульового гвинтів у площинах змаху та обертання. Резонансні діаграми лопаті несучого гвинта. Вимушені коливання лопаті. Навантаження лопаті у польоті. Земний резонанс вертольота. Параметри, що впливають на земний резонанс.

## 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	лаб.	пр.	с.р.
1	2	3	4	5	6
<b>Модуль 1</b>					
<b>Змістовний модуль 1. Основи аеропружності та механіка пружних систем</b>					
Тема 1. Основи механіки пружних систем	18	2	2		14
Тема 2. Аеродинамічні моделі ЛА	18	2	2		14
Тема 3. Динамічні характеристики ЛА	14	2	2		10
Тема 4. Рівняння аеропружності. Динаміка та навантаження конструкції. Змістовний контроль	16	2	2		12
Разом зі змістовим модулем 1	66	8	8		50
<b>Змістовний модуль 2. Дослідження явищ аеропружності</b>					

Тема 5. Явища статичної аеропружності	20	2	2		16
Тема 6. Ефективність несучих поверхонь	18	1	1		16
Тема 7. Динамічна аеропружність	10	2	2		6
Тема 8. Аеропружні коливання	19	2	2		15
Тема 9. Особливості аеропружності вертольота	17	1	1		15
Разом зі змістовим модулем 2	84	8	8		68
Усього годин	150	16	16		118

### 5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Не плануються	

### 6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Не плануються	

### 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	Пружні властивості конструкції ЛА. Розрахункові схеми.	2
2	Визначення квазістаціонарних аеродинамічних характеристик ЛА	2
3	Розрахунок частот та форм власних коливань консолі крила наближеними методами	2
4	Розрахунок частот та форм сумісних згинно-крутильних коливань консолі крила	2
5	Розрахунок частот та форм власних коливань вільного ЛА	2
6	Розрахунок динаміки пружної конструкції при нестационарному навантаженні	2

7	Розрахунок критичних швидкості дивергенції	1
8	Розрахунок критичних швидкості згинно-крутильного флатеру	1
9	Розрахунок резонансної діаграми лопаті несучого гвинта	1
10	Коливання лопаті несучого та рульового гвинтів у площинах змаху та обертання.	1
	<b>Разом</b>	16

### 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основи механіки пружних систем. (Тема 1)	18
2	Аеродинамічні моделі ЛА. (Тема 2)	16
3	Динамічні характеристики ЛА. (Тема 3)	17
4	Рівняння аеропружності. Динаміка та навантаження конструкції. (Тема 4)	18
5	Явища статичної аеропружності. (Тема 5)	16
6	Ефективність несучих поверхонь. (Тема 6)	17
7	Динамічна аеропружність. (Тема 7)	8
8	Аеропружні коливання. (Тема 8)	4
9	Особливості аеропружності вертольота. (Тема 9)	4
	<b>Разом</b>	118

### 9. Індивідуальні завдання

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	Визначення критичної швидкості флатеру консолі крила великого подовження	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 вміти 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. Динамическая реакция крыла самолета на действие атмосферной турбулентности.- Учебное пособие. Харьков: ХАИ, 2016. – 102с.
2. Онищенко В.М. Свободные и вынужденные колебания конструкции ЛА. -Учебное пособие, Харьков: ХАИ, 2016. – 101 с.
3. 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. Бисплингхофф Р.Л., Єшли Х., Халфмен Р.Л. Аероупругость.-М.: ИЛ, 1958.
3. 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)**