


401

Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра аерогідродинаміки (№ 101)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

 Гарант освітньої програми  
**Віталій ГАЙДАЧУК**  
(ініціали та прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ  
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Аеродинаміка безпілотної літальної апаратури  
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»  
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма: «Безпілотні літальні комплекси»  
(найменування освітньої програми)

**Форма навчання: денна**

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

**Харків 2021 рік**

Розробник: Сергій ЄРЬОМЕНКО, доцент кафедри 101, к.т.н.

(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)

  
(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри аерогідродинаміки (№ 101)

(назва кафедри)

Протокол № 21/22-02 від « 28 » 08 2021 р.

Завідувач кафедри

К. Т. Н.

(науковий ступінь і вчене звання)

  
(підпис)

Сергій ЄРЬОМЕНКО

(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 – 3	<b>Галузь знань:</b> <u>13 «Механічна інженерія»</u> (шифр і найменування)  <b>Спеціальність:</b> <u>134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u> (код і найменування)  <b>Освітня програма:</b> <u>«Безпілотні літальні комплекси»</u> (найменування)  <b>Рівень вищої освіти:</b> <u>перший (бакалаврський)</u>	Вибіркова
Кількість модулів – 1		<b>Навчальний рік</b>
Кількість змістовних модулів – 2		2021/2022
Індивідуальне завдання не передбачене (назва)		<b>Семестр</b>
Загальна кількість годин – 48 / 90		5-й
		<b>Лекції*</b>
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи студента – 2,625		24 години
		<b>Практичні, семінарські*</b>
		годин
		<b>Лабораторні*</b>
	24 години	
	<b>Самостійна робота</b>	
	42 годин	
	<b>Вид контролю</b>	
	модульний контроль, залік	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:  
48 / 42.

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

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета** вивчення дисципліни: дати студентам знання основних законів аерогідродинаміки, ролі й місця теоретичних та експериментальних досліджень, обчислювального експерименту, вплив аерогідродинаміки на формування зовнішнього вигляду літального апарату (ЛА), перспектив розвитку аерогідродинаміки.

**Завдання** вивчення дисципліни: дати студентам знання методів розрахунку аеродинамічних характеристик ЛА та їхніх елементів, вміння аналізувати особливості аеродинамічного конструювання і аеродинамічних характеристик літаків та вертольотів.

Предметом вивчення дисципліни є аеродинамічні сили і моменти, які виникають при впливі повітря (газу) на обтічне тіло, аеродинамічні характеристики літального апарату і його частин.

Науковою основою аерогідродинаміки є фундаментальні теореми і положення механіки та газової динаміки, які відображають об'єктивні закони стану, руху і збереження енергії газу.

### Компетентності, які набуваються:

1. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані та практичні задачі, пов'язані з розробкою, виробництвом та сертифікацією авіаційної та ракетно-космічної техніки, що передбачає застосування теорій та методів фізики, математики та інженерних наук, і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

2. Здатність використовувати положення гідравліки, аерота газодинаміки для опису взаємодії тіл з газовим і гідравлічним середовищем.

### Очікувані результати навчання:

1. Пояснювати вплив конструктивних параметрів елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на її льотно-технічні характеристики. Мати уявлення про методи забезпечення стійкості та керованості авіаційної та ракетно-космічної техніки.

2. Розуміти принципи механіки рідини та газу, зокрема, гідравліки, аеродинаміки (газодинаміки).

**Пререквізити** – вивчення дисципліни «Аеродинаміка БПЛА» базується на знанні дисциплін: «Вища математика», «Фізика», «Термодинаміка і теплообмін», «Теоретична механіка», «Аерогідродинаміка», «Гідравліка».

**Кореквізити** – вивчення дисципліни «Аеродинаміка БПЛА» забезпечує вивчення дисциплін: «Динаміка польоту БПЛА», «Конструкція безпілотних літальних апаратів та їх систем», «Міцність літальних апаратів», «Двигунні установки безпілотних літальних апаратів».

### 3. Зміст навчальної дисципліни

#### Модуль 1

#### **Змістовний модуль №1** *Аеродинамічні характеристики частин планера ЛА*

##### **Вступ.**

##### **Тема №1. Аеродинамічні характеристики крила при малих швидкостях.**

Літак і його основні частини. Типи оперення, органи механізації та управління. Розміщення силової установки на літальному апараті. Геометричні характеристики крила та інших несучих поверхонь. Система координат, аеродинамічні сили і моменти, їхні коефіцієнти. Особливості обтікання прямого і змінного крил. Розподілені та сумарні аеродинамічні характеристики і вплив на них форми крила. Особливості обтікання крил складної форми в плані. Нелінійні аеродинамічні характеристики.

##### **Тема №2. Аеродинамічні характеристики крила при великих дозвукових швидкостях.**

Розрахунок аеродинамічних характеристик крила в дозвуковому потоці з урахуванням стисливості. Вплив геометричних параметрів крила на його аеродинамічні характеристики при великих дозвукових і трансзвукових швидкостях. Особливості аеродинамічних характеристик крил складної форми в плані та змінної стрілоподібності. Аналіз переваг і недоліків крил різної форми у плані.

##### **Тема №3. Аеродинамічні характеристики корпусу літального апарату.**

Геометричні характеристики корпусу. Аеродинамічні характеристики тіл різної форми. Аеродинамічні сили і моменти корпусу, і їхні коефіцієнти. Хвильовий опір головної частини. Хвильовий опір кормової частини. Донний опір корпусу. Підйомна сила і аеродинамічний фокус корпусу. Вплив числа  $M$  і форми корпусу на його аеродинамічні характеристики.

##### **Тема № 4. Аеродинамічні характеристики повітряних гвинтів.**

Призначення, принцип дії, основні елементи і типи повітряних гвинтів. Геометричні та кінематичні параметри повітряного гвинта. Тяга, потужність і коефіцієнт корисної дії гвинта. Нормальні характеристики повітряних гвинтів і режими їхньої роботи. Серійні діаграми повітряних гвинтів. Підбір гвинта до літака. Особливості повітряних гвинтів, які застосовуються на сучасних швидкісних літаках.

#### **Модульний контроль**

## **Змістовний модуль №2 Аеродинамічні характеристики ЛА**

### **Тема №5. Аеродинамічне компонування літальних апаратів.**

Аеродинамічне компонування і вимоги, які висуваються до нього. Основні аеродинамічні схеми літальних апаратів.

### **Тема №6. Аеродинамічна підйомна сила і опір літального апарату.**

Взаємний вплив частин літального апарату (інтерференція). Підйомна сила крила і корпусу з урахуванням інтерференції. Скіс потоку від крила і його вплив на підйомну силу оперення. Визначення підйомної сили літального апарату. Лобовий опір при нульовій підйомній силі з урахуванням інтерференції. Опір літального апарату, який залежить від підйомної сили. Поляра і аеродинамічна якість літального апарату. Шляхи збільшення аеродинамічної якості.

### **Тема №7. Аеродинамічні моменти літального апарату.**

Аеродинамічні моменти, які діють на літальний апарат та їхні коефіцієнти. Аеродинамічний момент тангажа і його залежність від кута атаки. Аеродинамічний фокус і залежність його положення від форми, пружних деформацій літального апарату і числа Маха.

### **Тема №8. Аеродинамічні характеристики літака з механізацією крила.**

Механізація крила і її вплив на аеродинамічні характеристики літаків. Енергетичні способи підвищення ефективності механізації крила. Розрахунок коефіцієнта підйомної сили з різною механізацією крила і зі здуванням пограничного шару.

### **Тема №9. Аеродинамічні характеристики вертольотів.**

Аеродинамічне компонування і аеродинамічні схеми вертольотів. Несучий і рульовий гвинти вертольота, їхні геометричні та кінематичні характеристики. Робота несучого гвинта на режимі осьового обтікання. Тяга, потужність і ККД гвинта. Аеродинамічні характеристики несучого гвинта. Особливості аеродинаміки гвинтів з жорстким і шарнірним кріпленням лопатей. Маховий рух лопатей і його наслідки. Зривні режими обтікання несучого гвинта. Аеродинамічні характеристики вертольота. Аеродинамічні характеристики вертольота під час польоту в зоні впливу землі і в гірській місцевості, на режимах «вихрового кільця» і самообертання.

### **Тема №10. Аналіз переваг і недоліків різних схем ЛА.**

Особливості аеродинаміки літаків з крилами зворотної стрілоподібності. Аеродинамічні засоби зниження помітності літака. Особливості аеродинамічного компонування сучасних і перспективних вертольотів і перетворених літальних апаратів.

## **Модульний контроль**

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістовних модулів і тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
<b>Модуль 1</b>					
<b>Змістовний модуль 1. Аеродинамічні характеристики частин планера ЛА..</b>					
<b>Тема №1.</b> Аеродинамічні характеристики крила при малих швидкостях.	<b>12</b>	4		4	4
<b>Тема №2.</b> Аеродинамічні характеристики крила при великих дозвукових швидкостях.	<b>12</b>	4		4	4
<b>Тема №3.</b> Аеродинамічні характеристики корпусу літального апарату.	<b>8</b>	4			4
<b>Тема №4.</b> Аеродинамічні характеристики повітряних гвинтів.	<b>10</b>	4			6
<b>Разом за змістовним модулем 1</b>	<b>42</b>	<b>16</b>		<b>8</b>	<b>18</b>
<b>Змістовний модуль 2. Аеродинамічні характеристики ЛА</b>					
<b>Тема №5.</b> Аеродинамічне компонування літальних апаратів.	<b>9</b>	2		4	3
<b>Тема №6.</b> Аеродинамічна підйомна сила і опір літального апарату.	<b>14</b>	2		8	4
<b>Тема №7.</b> Аеродинамічні моменти літального апарату.	<b>9</b>	1		4	4
<b>Тема №8.</b> Аеродинамічні характеристики літака з механізацією крила.	<b>4</b>	1			3
<b>Тема №9.</b> Аеродинамічні характеристики вертольотів.	<b>6</b>	1			5
<b>Тема №10.</b> Аналіз переваг і недоліків різних схем ЛА.	<b>6</b>	1			5
<b>Разом за змістовним модулем 2</b>	<b>48</b>	<b>8</b>		<b>16</b>	<b>24</b>
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>24</b>		<b>24</b>	<b>42</b>

### 5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Не передбачено	
	<b>Разом</b>	

### 6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Не передбачено	
	<b>Разом</b>	

### 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Аеродинамічні сили і моменти та їх коефіцієнти. Системи координат, що застосовуються в аеродинаміці.	4
2	Геометричні та аеродинамічні характеристики профілю і крила.	4
3	Дослідження розподілених аеродинамічних характеристик крила кінцевого розмаху.	4
4	Дослідження сумарних аеродинамічних характеристик крила кінцевого розмаху.	4
5	Дослідження сумарних аеродинамічних характеристик корпусу ЛА і його компонування з крилом.	4
6	Дослідження моментних характеристик моделі літака.	4
	<b>Разом</b>	<b>24</b>

### 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>1</b>	<b>Змістовний модуль 1. Аеродинамічні характеристики частин планера ЛА</b>	
1.1	Аеродинамічні характеристики крила при малих швидкостях.	4
1.2	Аеродинамічні характеристики крила при великих дозвукових швидкостях.	4
1.3	Аеродинамічні характеристики корпусу літального апарату.	4
1.4	Аеродинамічні характеристики повітряних гвинтів.	6
	<b>Всього по модулю 1</b>	<b>18,0</b>



<b>2</b>	<b>Змістовний модуль 2. Аеродинамічні характеристики ЛА</b>	
2.1	Аеродинамічне компонування літальних апаратів.	3
2.2	Аеродинамічна підйомна сила і опір літального апарату.	4
2.3	Аеродинамічні моменти літального апарату.	4
2.4	Аеродинамічні характеристики літака з механізацією крила.	3
2.5	Аеродинамічні характеристики вертольотів.	5
2.6	Аналіз переваг і недоліків різних схем ЛА.	5
<b>Всього по модулю 2</b>		<b>24,0</b>
<b>Разом</b>		<b>42</b>

### 9. Індивідуальні завдання

Для денної форми навчання – не передбачено.

### 10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, лабораторних/практичних робіт і консультацій, самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (навчальні та методичні посібники).

### 11. Методи контролю

Поточний контроль здійснюється на лабораторному практикумі і модульному контролі, семестровий контроль – залік (до заліку допускається студент, який виконав всі лабораторні/практичні роботи з дисципліни). Система оцінювання подана у «Критеріях оцінювання з дисципліни».

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

#### 12.1. Розподіл балів (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань), які оцінюються	Сумарна кількість балів
<b>Змістовний модуль 1</b>			
Робота на лекціях			
Виконання та захист лабораторних/практичних робіт	0...10	3	0...30
Модульний контроль	0...25	1	0...25

<b>Змістовний модуль 2</b>			
Робота на лекціях			
Виконання та захист лабораторних/практичних робіт	0...20	2	0...20
Модульний контроль	0...25	1	0...25
<b>Всього за семестр</b>			<b>0...100</b>

Форма проведення модульного контролю – письмова, заліку – комбінована (письмово-усна). Під час дії карантинних обмежень поточний, модульний та семестровий контроль може проводитися у вигляді тестування із застосуванням інтернет-технологій.

Під час складання модульного контролю студент має можливість отримати максимум 25 балів. Білет для модуля складається з 3 запитань. За повну правильну відповідь на два перших запитання студент отримує по 8 балів. За повну правильну відповідь на останнє запитання – 9 балів.

Семестровий контроль (залік) проводиться у разі, якщо студент, набрав недостатню кількість балів, або незадоволений балами, отриманими при поточному і модульному контролі, та за наявності допуску до заліку. Для отримання допуску до заліку студент повинен надати звіти з усіх лабораторних/практичних робіт.

При складанні семестрового заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів. Білет для заліку складається з 3-х теоретичних запитань, максимальна кількість балів за два перших питання 33 бали, за третє – 34 бали.

## 12.2. Якісні критерії оцінювання

### ***Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:***

основні закони аеромеханіки; методи розрахунку аеродинамічних характеристик ЛА та їхніх елементів; аеродинамічне компонування і аеродинамічні характеристики літальних апаратів.

### ***Необхідний обсяг умінь для одержання позитивної оцінки:***

проводити аеродинамічний розрахунок ЛА; використовувати технічну документацію, розрахункові та експериментальні дані для аналізу аеродинамічних властивостей літальних апаратів.

## 12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60...74).** Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи та домашні завдання. Вміти самостійно аналізувати аеродинамічні властивості літальних апаратів та їхніх елементів.

**Добре (75...89).** Мати тверді знання, виконати усі завдання. Показати вміння виконувати та захищати всі лабораторні роботи в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах. Вміти пояснювати основні закони аеромеханіки; методи розрахунку аеродинамічних характеристик ЛА та їхніх елементів, проводити аеродинамічний розрахунок ЛА.

**Відмінно (90...100).** Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати усі теми. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Досконально знати основні закони аеромеханіки; методи розрахунку аеродинамічних характеристик ЛА та їхніх елементів; аеродинамічне конструювання і аеродинамічні характеристики літальних апаратів. Безпомилково виконувати та захищати всі лабораторні роботи в обумовлений викладачем строк з докладним обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах. Проводити аеродинамічний розрахунок ЛА; використовувати технічну документацію, розрахункові та експериментальні дані для аналізу аеродинамічних властивостей літальних апаратів.

#### Шкала оцінювання: бальна і національна

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

	Назва підручника чи навчального посібника	Кількість примірників у бібліотеці ХАІ	Наявність електронної версії
1.	<b>Ерєменко С.М.</b> Аэродинамика летательных аппаратов. / С.М. Ерєменко – Х: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2019. – 384 с.	85	√
2.	<b>Чмовж В.В.</b> Аэрогидродинамика, часть 1 (конспект лекций). / В.В. Чмовж – Х: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2006. – 193 с.	102	√
3.	<b>Тюрев В.В.</b> Численные методы в аэрогидродинамике. / В.В. Тюрев, В.А. Тараненко – Х: Нац.	100	-

	аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2013. – 180 с.		
4.	<b>Крашаница Ю.А.</b> Аэрогидродинамика (основные законы и математические модели) /. Ю.А. Крашаница – Х: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2004. – 287 с.	358	√
5.	<b>Тюрёв В.В.</b> Аэродинамические характеристики крыла. Методы расчёта и анализ. / В.В. Тюрёв - Х: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2008. – 130 с.	100	-
6.	<b>Соляник П.Н.</b> Экспериментальная аэродинамика: учеб. пособие по лабораторному практикуму / П. Н. Соляник, М. Л. Сургайло, В. В. Чмовж. - Х.: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2007. - 96 с.	54	√

**Електронний ресурс**, на якому розміщено навчально-методичний комплекс дисципліни (сторінка курсу в «Ментор»):

<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=4173>

#### 14. Рекомендована література

##### Базова

	Назва підручника чи навчального посібника	Кількість примірників у бібліотеці ХАІ	Наявність електронної версії
1.	<b>Краснов Н.Ф.</b> Аэродинамика : учебник для студентов вузов , Ч. 1 : Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла / Н. Ф. Краснов . - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1976. - 384 с.	54	-
2.	<b>Краснов Н.Ф.</b> Аэродинамика : учеб. для студентов вузов , Ч. 2 : Методы аэродинамического расчета / Н. Ф. Краснов . - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1976. -	56	-

	368 с.		
3.	<b>Микеладзе В.Г.</b> Основные геометрические и аэродинамические характеристики самолетов и крылатых ракет / В. Г. Микеладзе, В. М. Титов. - М. : Машиностроение, 1974. - 152 с.	29	-

#### Допоміжна

	Назва підручника чи навчального посібника	Кількість примірників у бібліотеці ХАІ	Наявність електронної версії
1.	Аэродинамика летательных аппаратов : для студ. авиационных специальностей вузов / под ред. Г.А. Колесникова. - М. : Машиностроение, 1993. - 544 с .	4	-
2.	Аэродинамика летательных аппаратов : учебник для студентов авиац. вузов / Н. С. Аржаников, Г. С. Садекова. - М. : Высшая школа, 1983. - 360 с	183	
3.	J. N. Nielsen, Missile Aerodynamics, McGraw Hill, Inc. (1960).	-	-

#### 15. Інформаційні ресурси

<https://library.khai.edu>