



НАЗВА КУРСУ

Гідрогазодинаміка та термодинаміка

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</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>2 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>6,5 кредитів ЄКТС, 195 годин (лекції – 54 годин, практичні заняття – 18 годин, лабораторні – 18 годин, СРС – 105 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	<i>У розкладі представлено згідно РНП лекції – 3 год., 1 год. практичних занять, 1 год. лабораторні: http://rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Лобунько Олександр Петрович, т.м. +380675957591, e-mail: Lobunko_IAT@ukr.net Практичні заняття: асистент Легень Людмила Віталіївна, т.м. +380503305115, e-mail: lyulinda@meta.ua</i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс (Moodl, Google classroom)</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Визначення і дослідження просторової зміни параметрів потоку в різних режимних і конструктивних умовах є однією з ключових складових обґрунтування зовнішніх форм літальних апаратів (ЛА), профілювання внутрішніх компонентів двигунів, агрегатів систем. Розрахунок опору тертя, полів швидкості і температури, побудова картини течії навколо елементів конструкцій, з'ясування силових і теплової взаємодії робочого тіла і складових частин ЛА та багато інших завдань розв'язуються з використанням відповідних теоретичних положень, математичного і науково-методичного апарату.

Це вимагає від фахівців глибоких знань з дисциплін, орієнтованих на проблеми покращення умов взаємодії аерокосмічних об'єктів з рухомим рідким середовищем, параметри якого змінюються. Однією з таких дисциплін є "Гідрогазодинаміка та термодинаміка". Вона дає основні знання в області закономірностей руху і рівноваги газового потоку та рідин, перетворення енергії в різні форми. Вивчення дисципліни необхідне для розуміння і розрахунку характеристик процесів, що протікають в елементах ЛА і їх силових установок, візуалізації результатів моделювання параметрів течії, аналізу досконалості конструкції, визначення і управління тепловим станом напружених деталей аерокосмічних конструкцій.

Метою вивчення навчальної дисципліни "Гідрогазодинаміка та термодинаміка" є формування у студентів базових теоретичних знань стосовно розуміння принципів і

закономірностей механіки рідини та газу, особливостей перетворення енергії, робочих, теплових процесів у системах авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Предметом дисципліни є гідродинамічні, газодинамічні, термодинамічні, теплові процеси в авіаційній та ракетно-космічній техніці.

В результаті навчання здобувачі вищої освіти одержують знання і практичні навички щодо принципів механіки рідини та газу, особливості робочих процесів у функціональних системах авіаційної та ракетно-космічної техніки.

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

Пререквізитами дисципліни “Гідрогазодинаміка та термодинаміка” є дисципліни бакалаврської підготовки “Вища математика”, “Фізика”, “Хімія”.

Постреквізитами дисципліни “Гідрогазодинаміка та термодинаміка” є дисципліни “Конструкція енергетичних установок ракет і космічних апаратів”, “Аеродинаміка літальних апаратів”, “Конструкція літальних апаратів”, “Динаміка польоту”.

3. Зміст навчальної дисципліни

Теоретичний курс дисципліни складає 54 академічних годин і містить наступні розділи, теми:

РОЗДІЛ 1. Гідрогазодинаміка.

Тема 1.1. Фізичні властивості і моделі рідин і газів.

Тема 1.2. Динаміка рідин і газів.

Тема 1.3. Основні закони руху рідини.

Тема 1.4. Одномірний рух газу.

Тема 1.5. Дво- і тривимірний рух рідини.

Тема 1.6. Особливості течії стисливої рідини.

Тема 1.7. Плоска до і надзвукова течія газу з малими збуреннями.

Тема 1.8. Метод характеристик для двомірного надзвукового потоку.

Тема 1.9. Стрибки ущільнення у газовому потоці.

Тема 1.10. Приграничний шар.

Тема 1.11. Течія в елементах енергетичних установок.

РОЗДІЛ 2. Термодинаміка і теплообмін.

Тема 2.1. Термодинамічна система та її характеристики.

Тема 2.2. Основні закони термодинаміки.

Тема 2.3. Термодинамічні процеси в елементах енергетичних установок і систем.

Тема 2.4. Термодинамічний аналіз двигунів.

Тема 2.5. Теорія теплообміну, теплопровідність.

Тема 2.6. Конвективний теплообмін.

Тема 2.7. Теплообмін випромінюванням.

Тема 2.8. Передача тепла через стінки, методи теплового захисту.

Тема 2.9. Нестационарний теплообмін.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Турик В.М. Основи газодинаміки. – К.: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 139 с.
2. Халатов А.А., Гільчук А.В., Кохтич Л.М. Термодинаміка газового потоку. – К.: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 219 с.
3. Бойко А.В. Гідрогазодинаміка. – Х.: НТУ ХПІ, 2008. – 444 с.
4. Теорія теплопровідності / А.В.Гільчук, А.А.Халатов, Т.В.Доник. КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 153 с.

Додаткова література:

1. Розрахунок системи охолодження сопла рідинного ракетного двигуна: методичні рекомендації до виконання курсової роботи / уклад.: А.А. Халатов, Н.А. Панченко, А.Ж. Мейріс. – К: НТУУ «КПІ», 2016. – 34 с.
2. Основи конвективного теплообміну: метод. вказівки до практ. занять / Н.А. Панченко, А.А. Халатов. – К: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 32 с.
3. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з кредитного модуля «Тепломасообмін – 2». О. В. Семеняко, Є. В. Новаківський – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 31 с.
4. Турик В.М. Гідрогазодинаміка. – К.: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 145 с.
5. Русанов А.В., Соловей В.В., Зіпунніков М.М., Шевченко А.А. Термогазодинаміка фізико-енергетичних процесів в альтернативних технологіях в 3-х т. – Х.: Технологічний Центр, 2018. – 336 с.
6. Fundamentals of gas dynamics. M.E.H. van Dongen, A. Hirschberg, D.M.J. Smeulders. 2015. – 123 p.
7. Колчунов В.І. Теоретична та прикладна гідромеханіка. – К.: НАУ, 2004. – 336 с.
8. Турик В.М. Гідрогазодинаміка. Практикум. – К.: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 38 с.

Електронні ресурси:

1. Сайт НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського” <http://kpi.ua>.
2. Сайт ІАТ НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського” <http://iat.kpi.ua>.
3. Сайт Державного космічного агентства України <http://www.nkau.gov.ua>.
4. Сайт National Aeronautics and Space Administration <http://www.nasa.gov>.
5. Сайт European Space Agency <http://www.esa.int>.

Обов'язковими для прочитання є розділи з наведеної базової та додаткової літератури, що тематично відповідають лекційному матеріалу.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Дисципліна розрахована на один семестр. Аудиторне навантаження дисципліни “Гідрогазодинаміка та термодинаміка” складається з лекцій – 54 ак. год., практичних занять – 18 ак. год., лабораторних робіт – 18 ак. год. Аудиторні заняття рівномірно розподілені протягом семестру, що дозволяє здобувачам вищої освіти планомірно організовувати і планувати свою роботу.

Теоретична частина складається з 2 логічно пов'язаних розділів: 1 – Гідрогазодинаміка (теми 1.1-1.11); 2 – Термодинаміка і теплообмін (теми 2.1-2.9).

Метою лекцій з дисципліни “Гідрогазодинаміка та термодинаміка” є отримання теоретичних знань стосовно гідродинамічних, газодинамічних, термодинамічних, теплових процесів і умов взаємодії аерокосмічних об'єктів з рухомим газовим і рідинним середовищем. Орієнтовна тематика лекційних занять:

РОЗДІЛ 1. Гідрогазодинаміка

- Лекція 1: Вступ. Фізичні властивості і моделі рідин і газів (тема 1.1).
- Лекція 2: Динаміка рідин і газів (тема 1.2).
- Лекція 3: Основні закони руху рідини (тема 1.3).
- Лекція 4: Одномірний рух газу (тема 1.4).
- Лекція 5: Основи фізичного моделювання течії (тема 1.4).
- Лекція 6: Дво- і тривимірний рух рідини (тема 1.5).
- Лекція 7: Основи теорії вихорів (тема 1.5).
- Лекція 8: Метод конформного перетворення (тема 1.5).
- Лекція 9: Особливості течії стисливої рідини (тема 1.6).
- Лекція 10: Плоска до і надзвукова течія газу з малими збуреннями (тема 1.7).
- Лекція 11: Метод характеристик для двомірного надзвукового потоку (тема 1.8).
- Лекція 12: Стрибки ущільнення у газовому потоці (тема 1.9).

Лекція 13: Приграничний шар (тема 1.10).

Лекція 14: Течія в елементах енергетичних установок (тема 1.11).

РОЗДІЛ 2. Термодинаміка і теплообмін

Лекція 15: Поняття термодинамічної системи, її різновиди, характеристики (тема 2.1).

Лекція 16: Сутність, формулювання, застосування першого закону термодинаміки (тема 2.2).

Лекція 17: Сутність, формулювання, застосування другого закону термодинаміки (тема 2.2).

Лекція 18: Ентропія термодинамічних систем (тема 2.2).

Лекція 19: Термодинамічні процеси в елементах енергетичних установок (тема 2.3).

Лекція 20: Термодинамічні цикли теплових двигунів (тема 2.3).

Лекція 21: Термодинамічний аналіз двигунів (тема 2.4).

Лекція 22: Основні положення теорії теплообміну, теплопровідність (тема 2.5).

Лекція 23: Конвективний теплообмін (тема 2.6).

Лекція 24: Теплообмін випромінюванням (тема 2.7)

Лекція 25: Передача тепла через стінки, методи теплового захисту (тема 2.8).

Лекція 26: Теплообмінні апарати (тема 2.8).

Лекція 27: Нестаціонарний теплообмін (тема 2.9).

Завдання практичних занять і лабораторних робіт виконуються з використанням базової і додаткової літератури, відповідних електронних ресурсів, лекційних матеріалів, сучасних програмних засобів чисельного моделювання (лабораторні роботи 2-9) робочих процесів і стану елементів та орієнтовані на самостійне осмислення. Виконанню завдань практичних занять і лабораторних робіт передують теоретична підготовка і контроль знань. Орієнтовна тематика практичних занять:

практичне заняття 1. Способи вимірювання параметрів і характеристик рідин і газів (тема 1.1);

практичне заняття 2. Розв'язування задач з використанням основних законів і рівнянь гідрогазодинаміки (тема 1.2, 1.3);

практичне заняття 3. Розрахунки параметрів потоку при обтікання тіл, застосування формули підйомної сили (тема 1.4, 1.5);

практичне заняття 4. Розрахунки параметрів примежового шару (тема 1.6-10);

практичне заняття 5. Дослідження витратного і теплового впливів на параметри потоку, визначення параметрів сопла Лавалю (тема 1.7-1.11);

практичне заняття 6. Розрахунки параметрів робочих термодинамічних процесів в елементах енергетичних установок літальних апаратів (тема 2.1, 2.2);

практичне заняття 7. Термодинамічний аналіз параметрів зразків двигунів літальних апаратів (тема 2.3, 2.4);

практичне заняття 8. Розрахунок тепловіддачі при рухові газу з великою швидкістю і при вільній конвекції (тема 2.5, 2.6);

практичне заняття 9. Розв'язування задач стосовно передачі тепла через одношарову та багатшарову плоскі та циліндричні стінки (тема 2.7, 2.8).

Орієнтовна тематика лабораторних робіт:

лабораторна робота 1. Дослідження способів вимірювання основних параметрів і характеристик рідин та газів;

лабораторна робота 2. Освоєння методики створення проекту для чисельного моделювання параметрів ламінарної течії в'язкої рідини та газу;

лабораторна робота 3. Освоєння методики створення ескізу (побудова сітки, задавання вузлів сітки) для чисельного моделювання параметрів ламінарної течії в'язкої рідини та газу;

лабораторна робота 4. Освоєння методики задавання вихідних даних, крайових умов і проведення чисельного моделювання параметрів ламінарної течії в'язкої рідини та газу;

лабораторна робота 5. Освоєння методики оброблення результатів чисельного моделювання параметрів ламінарної течії в'язкої рідини та газу;

лабораторна робота 6. Освоєння методики створення проекту та ескізу для чисельного моделювання параметрів турбулентної течії в'язкої нестисливої рідини;

лабораторна робота 7. Освоєння методики задавання вихідних даних, крайових умов, проведення чисельного моделювання параметрів турбулентної течії в'язкої нестисливої рідини, оброблення результатів;

лабораторна робота 8. Освоєння методики чисельного моделювання розвитку стисливої надзвукової течії газу з косим скачком ущільнення;

лабораторна робота 9. Освоєння методики чисельного моделювання теплових процесів у елементах аерокосмічних систем.

Календарний план організації навчального процесу представлено в таблиці 1.

Таблиця 1.

№ тижня	№ лекції	№ практичного заняття (семінару)	№ лабораторної роботи
1	Лекція 1, 2	Практичне заняття 1	
2	Лекція 3		Лабораторна робота 1
3	Лекція 4, 5	Практичне заняття 2	
4	Лекція 6		Лабораторна робота 2
5	Лекція 7, 8	Практичне заняття 3	
6	Лекція 9		Лабораторна робота 3
7	Лекція 10, 11	Практичне заняття 4	
8	Лекція 12		Лабораторна робота 4
9	Лекція 13, 14	Практичне заняття 5	
10	Лекція 15		Лабораторна робота 5
11	Лекція 16, 17	Практичне заняття 6	
12	Лекція 18		Лабораторна робота 6
13	Лекція 19, 20	Практичне заняття 7	
14	Лекція 21		Лабораторна робота 7
15	Лекція 22, 23	Практичне заняття 8	
16	Лекція 24		Лабораторна робота 8
17	Лекція 25, 26	Практичне заняття 9	
18	Лекція 27		Лабораторна робота 9

6. Самостійна робота студента

Обсяг самостійної роботи протягом семестру складає 105 ак. годин. Орієнтовна структура самостійної роботи наступна.

Підготовка до лекційних занять (15 ак. год.).

Підготовка і виконання завдань практичних занять (15 ак. год.).

Підготовка і виконання завдань лабораторних робіт (25 ак. год.).

Виконання Контрольної роботи (25 ак. год.).

Підготовка до екзамену (25 ак. год.).

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекцій і практичних занять є обов'язковим і здійснюється за затвердженням розкладом або згідно з індивідуальним планом здобувача вищої освіти. В разі пропуску лекцій студент опрацьовує її електронний варіант і викладає основні положення у короткому рефераті. Відпрацювання пропущених практичних занять проводиться наприкінці семестру за окремим затвердженням 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 до обговорень з метою збільшення активності слухачів.

Завдання практичних занять видаються кожному студенту індивідуально, захищаються на черговому за розкладом практичному занятті. Завдання оформлюються у вигляді звітів.

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

На практичних заняттях демонструються навчальні матеріали відповідної тематики, в тому числі підготовлені за участю здобувачів вищої освіти і з їх супроводженням і коментарями.

Питання, що мають дискусійний характер або можливості розв'язку різними методами, способами, технологіями підлягають обговоренню на практичних заняттях. Кожен з варіантів рішення проблеми готується відповідним доповідачем, а найкращий варіант визначається в процесі дискусійного обговорення групою.

Використовуються наступні правила заохочувальних і штрафних балів.

За участь в олімпіаді з дисципліни нараховується 5 балів, за роботу з удосконалення дидактичного матеріалу з дисципліни нараховується 5 балів, за підготовку і супроводження навчального відеофільму нараховується 3 бали. За підготовку міні доповіді з варіативного і дискусійного питання нараховується 3 бали, за творчий підхід до роботи, активну участь в обговоренні тем, самостійний пошук тем: +1...4 балів.

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

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

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

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

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання.

1. Практичні заняття.

Ваговий бал – 2.

Максимальна кількість балів дорівнює $2 \text{ балів} \times 16 = 32 \text{ бали}$.

Критерії оцінювання:

- повне виконання завдання – 2;
- виконання, але теоретичні знання недостатні – 1;
- не підготовлений – 0.

2. Контрольна робота.

Ваговий бал – 12.

Максимальна кількість балів дорівнює $12 \text{ балів} \times 1 = 12 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

- повне виконання завдання – 12;
- неповне виконання завдання – 5...11;
- незадовільне виконання – 0.

Штрафні та заохочувальні бали:

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

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

Максимальна кількість заохочувальних та штрафних балів дорівнює 4.

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_C = 32 + 12 = 44 \text{ бали.}$$

Необхідною умовою допуску до екзамену є своєчасне виконання завдань усіх практичних занять, Контрольної роботи та надання викладачеві відповідних звітних матеріалів

3. Екзамен.

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

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

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

не має відповіді на основне питання – 0 балів.

Таким чином, рейтингова шкала 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)

На семестровий контроль (екзамен) виносяться питання:

1. Сутність і характеристики руху суцільного середовища.
2. Методи вивчення руху суцільного середовища.
3. Пояснення понять трубка, струмінка, інтенсивність потоку.
4. Сутність універсального закону збереження субстанції (маси, імпульсу, енергії).
5. Одновимірні рівняння газодинаміки.
6. Газодинамічні функції температури, тиску, густини.
7. Моделі формування прямого стрибка ущільнення і ударної хвилі.
8. Пояснення рівняння і закону оберненості впливу.
9. Особливості можливих впливів на потік газу.
10. Опис моделі безвихрового руху ідеальної нестисливої рідини.
11. Метод конформних відображень і його застосування.

12. Формула М.Є. Жуковського для підйомної сили.
13. Особливості опису плоских потенційних течій газу.
14. Опис моделі кінцевих збурення в надзвукових потоках.
15. Ламінарний, турбулентний і змішаний межовий шар на плоскій стінці.
16. Поняття термодинамічної системи, її різновиди.
17. Сутність і формулювання першого закону термодинаміки.
18. Сутність і формулювання другого закону термодинаміки.
19. Моделі ізопараметричних процесів;
20. Процеси в елементах енергетичних установок.
21. Аналіз термодинамічних процесів теплових машин.
22. Основні поняття та закони переносу теплоти.
23. Стаціонарна і нестаціонарна теплопровідність.
24. Природна та вимушена конвекція.
25. Фізична подібність об'єктів теплообміну.
26. Методи опису променевого теплообміну.
27. Складний теплообмін.

Дисципліна “Гідрогазодинаміка та термодинаміка” постійно оновлюється і вдосконалюється. Сучасний етап характеризується можливістю активного творчого впливу розробників на подальший розвиток дисципліни, відповідного навчально-методичного матеріалу, науково-експериментальної бази. Такі умови передбачають використання сучасних наукових досягнень, праць, дисертацій, монографій і інших нових джерел інформації для опанування дисципліни, а не лише запропонованої літератури та електронних інформаційних ресурсів.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри космічної інженерії кандидатом технічних наук, старшим науковим співробітником Лобуньком Олександром Петровичем

Ухвалено кафедрою космічної інженерії (протокол № 15 від 07.06.2023 року)

Погоджено Методичною комісією НН ІАТ (протокол № 6 від 22.06.2023 року)