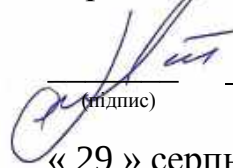


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра «Теорія авіаційних двигунів» (№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



Т.П. Михайленко
(ініціали та прізвище)

« 29 » серпня 2025 р.

**СИЛАБУС ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Теорія і розрахунок лопаткових машин

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 144 «Теплоенергетика»
(код та найменування спеціальності)

Освітні програми: «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування енергетичних систем»
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Силабус введено в дію з 01.09.2025 року

Харків 2025 рік

Розробник: Бойко Л.Г., професор кафедри 201, д-р.техн. наук., професор
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри Теорії авіаційних двигунів (201)

Протокол № 1 від «28» серпня 2025 р.

Завідувач кафедри канд. техн. наук, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Олег КІСЛОВ
(ініціали та прізвище)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

Староста групи 261



П.Є. ГОРБОВА

1. Загальна інформація про викладача



Бойко Людмила Георгіївна
Професор кафедри теорії авіаційних двигунів
 Науковий ступінь: – *доктор технічних наук*
 Вчене звання: – *професор*
 Викладацький стаж більше 30 років
 Перелік дисциплін, які викладає:
Теорія лопаткових машин;
Нагнітачі природного газу;
Методи розрахунку і проєктування лопаткових машин;
Газодинамічна нестійкість турбокомпресорів;
Робочі процеси авіаційних двигунів;
Робочі процеси відцентрових компресорів і насосів;

Напрями наукових досліджень: *Напрями наукових досліджень: теорія лопаткових машин проєктування високонапірних ступенів осьових компресорів і багатоступеневих машин, математичне моделювання параметрів і характеристик ГТД з повільним описом лопаткових машин*

2. Опис навчальної дисципліни

Форми здобуття освіти	Денна, дистанційна, дуальна
Семестр	5
Мова викладання	Українська
Тип дисципліни	Вибіркова
Обсяг дисципліни	4 кредитів ЄКТС (120 годин), у тому числі аудиторних – 56 годин, самостійної роботи здобувачів – 64 години
Види навчальної діяльності	Лекції, практичні заняття, самостійна робота здобувача
Види контролю	Поточний, модульний та підсумковий (семестровий) контроль (іспит)
Пререквізити	Вища математика, Фізика, Хімія, Технічна термодинаміка, Гідрогазодинаміка, Теоретична механіка та теорія машин і механізмів, гідрогазодинаміка, прикладна гідрогазодинаміка.
Постреквізити	Теорія робочих процесів теплових машин, теплотехнічні процеси і установки, конвертування авіаційних двигунів в енергетику, основи проєктування теплонасосного обладнання.

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: засвоєння здобувачами основних положень теорії лопатевих машин газотурбінних установок та застосування при проектуванні багатоступеневих компресорів і турбін та розробці систем їх регулювання.

Завдання: вивчення принципів дії лопатевих машин різних типів, основних рівнянь та співвідношень, що відображають газотермодинамічні процеси в проточних частинах лопатевих машин, решітках профілів, розуміння особливостей їх функціонування на різних режимах роботи.

Компетентності, які набуваються:

ІК. Здатність розв'язувати складні загальні, спеціалізовані задачі та практичні проблеми теплоенергетичної галузі, що передбачає застосування певних теорій та методів електричної інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов;

ЗК1. Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні.

ЗК2. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

ЗК3. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК6. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК8. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК9. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК11. Здатність ухвалювати рішення та діяти, дотримуючись принципу неприпустимості корупції та будь-яких інших проявів недоброчесності.

ФК1. Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні методи, методи природничих та технічних наук і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань в теплоенергетичній галузі.

ФК2. Здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння інших інженерних дисциплін для вирішення професійних проблем.

ФК4. Здатність виявляти, класифікувати і оцінювати ефективність систем і компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання в теплоенергетичній галузі.

ФК7. Здатність враховувати ширший міждисциплінарний інженерний контекст у професійній діяльності в сфері теплоенергетики.

ФК8. Здатність використовувати наукову і технічну літературу та інші джерела інформації у професійній діяльності в теплоенергетичній галузі.

ФК14. Здатність застосовувати знання та підходи термодинаміки, тепломасообміну, гідрогазодинаміки, теплофізичних властивостей речовин для аналізу ефективності теплогідрравлічних процесів, розрахунку, проектування теплоенергетичного обладнання та раціонального використання енергетичних ресурсів.

Програмні результати навчання:

ПРН2. Знати і розуміти інженерні науки, що лежать в основі спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки у сфері теплоенергетики.

ПРН3. Розуміння міждисциплінарного контексту спеціальності «Теплоенергетика».

ПРН4. Аналізувати і використовувати сучасні інженерні технології, процеси, системи і обладнання у сфері теплоенергетики.

ПРН5. Обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень.

ПРН7. Розробляти і проектувати складні вироби в теплоенергетичній галузі, процеси і системи, що задовольняють встановлені вимоги, які можуть включати обізнаність про технічні й нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) аспекти.

ПРН9. Вміти знаходити необхідну інформацію в технічній літературі, наукових базах даних та інших джерелах інформації, критично оцінювати і аналізувати її.

ПРН13. Розуміти основні методики проектування і дослідження в теплоенергетиці, а також їх обмеження.

4. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовний модуль 1. Загальні питання теорії лопаткових машин (ЛМ)

Тема 1. Основні рівняння. Газотермодинамічні процеси в турбомашинах

Форма занять: лекції, практичні роботи, самостійна робота.

Лекція 1-3. Класифікація ЛМ та області застосування ЛМ, вимоги щодо них. Коротка історія розвитку ЛМ.

2. Конструктивні схеми ЛМ.

3. Вклад вчених університету до розвитку теорії ЛМ.

4. Рівняння нерозривності, закону збереження енергії, кількості та моменту кількості руху, стану, ізоентропічного та політропічного процесу. Узагальнене рівняння Бернуллі.

5. Ентропійна діаграма та її властивості. Вивчення процесів у потоці газа. Енергетично ізольовані процеси, їх зображення в is-діаграмі.

6. Процеси з підводом та отводом механічної та теплової енергії, їх зображення в is-діаграмі.

7. Рівняння тепловміщення та Бернуллі для течії у відносному русі.

Практичні роботи 1 і 2: рішення задач. Розрахунок параметрів течії в лопаткових машинах. Енергетично-ізолювані і неізолювані процеси.

Самостійна робота: Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Опанування основних рівнянь. Підготовка до виконання і захисту практичних робіт.

Види контролю – поточний (захист практичних та лабораторних робіт).

Змістовний модуль 2. Ізолювані ступені компресора і турбіни. Гратки профілів

Тема 2. Ступінь осьового компресора

Лекція 4-7

1. Ступінь осьового компресора, принцип дії, призначення основних елементів,
2. Процес у ступені осьового компресора, основні параметри, їх вплив на напір та ККД.
3. Плани швидкостей.
4. Зображення процесу в i - S діаграмі.
5. Гратки профілів, геометричні параметри граток, зв'язок кінематики потоку з геометричними параметрами граток.
6. Сили, що діють на лопатки турбомашини. Теорема М.Є. Жуковського про під'ємну силу профілю у гратці. Коефіцієнти під'ємної сили та опіру, якість гратки.
7. Особливості обтікання дозвуковою течією, гратки профілів.
8. Характеристики компресорних граток профілів.
9. Урахування стисливості та в'язкості течії при розрахунку граток профілів.
10. Ступінь, що має вхідний НА. Особливості газотермодинамічних процесів у до-, транс- та надзвукових ступенях компресора. Просторова течія в ступенях турбомашин.

Практичні роботи: у вигляді рішення задач. Процеси у компресорі з підводом механічної енергії. Розрахунок планів швидкостей.

Самостійна робота: опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з презентаціями та матеріалами у МЕНТОРІ. Підготовка до рішення та захисту задач.

Види контролю – поточний (захист практичних та лабораторних робіт).

Тема 3. Ступінь осьової газової турбіни.

Лекція 8-9

1. Ступінь газової турбіни, принцип дії, призначення основних елементів, 2. Газотермодинамічні процеси.
3. Основні параметри ступеня, їх вплив на його роботу.
4. ККД ступеня турбіни.
5. Плани швидкостей.
6. Активні та реактивні ступені.
7. Особливості обтікання ступеня турбіни дозвуковою течією.
8. Охолодження газових турбін.

Самостійна робота: опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з презентаціями та матеріалами у МЕНТОРІ, підготовка до виконання індивідуального завдання.

Види контролю – поточний (захист практичних та лабораторних робіт).

Змістовний модуль 3. Характеристики лопаткових машин

Тема 4. Характеристики лопаткових машин.

Лекція 10-11

1. Перехід від теоретичних до дійсних характеристик ступенів лопаткових машин.
2. Характеристики ступеня осьового компресора.
3. Нестійкі режими роботи ступеня, причини, що їх викликають.
4. Коефіцієнт запасу стійкості ступеня компресора, вплив частоти обертання.
5. Особливості прояву обертового зриву у ступенях з різним діаметром втулки, $\bar{d}_{вт}$.
6. Параметри подібності.
7. Зображення характеристик турбомашин в параметрах подібності.
8. Характеристики ступеня осьової газової турбіни.

Самостійна робота: опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з презентаціями та матеріалами у МЕНТОРІ, виконання індивідуального завдання .

Види контролю – поточний (захист практичних та лабораторних робіт).

Модульний контроль 1

Модуль 2

Змістовний модуль 3. Ступінь відцентрового компресора

Тема 5. Ступінь відцентрового компресора

Лекція 12-13

1. Принцип дії.
2. Призначення основних елементів.
3. Основні геометричні та термогазодинамічні параметри.
4. Плани швидкостей.
5. Закономірності зміни параметрів уздовж проточної частини. Форми лопаток на виході
6. Вплив ВНА

Самостійна робота: опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з презентаціями та матеріалами у МЕНТОРІ.

Види контролю – поточний .

Змістовний модуль 4. Багатоступеневі осьові компресори та їх регулювання

Тема 6. Багатоступеневі осьові компресори та їх регулювання

Лекція 14-19

1. Багатоступеневий осьовий компресор (БОК), основні параметри, зв'язок з параметрами ступенів компресора.
2. Вибір параметрів ступенів при проектуванні на розрахунковому режимі.
3. Умови узгодження спільної роботи ступенів у багатоступеневій машині.
4. Характеристики нерегульованого багатоступеневого компресору.
5. Характер розузгодження ступенів при зміні витрати та частоти обертання.
6. Нестійкі режими роботи.
7. Діапазон робочих режимів, вплив напірності.
8. Засоби регулювання компресорів та їх застосування на різних режимах.

Самостійна робота здобувачів: опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з презентаціями та матеріалами у МЕНТОРІ, виконання індивідуального завдання та підковка до задачі її викладачеві.

Види контролю – поточний контроль виконання і індивідуальної роботи (робіт).

Змістовний модуль 5. Багатоступеневі осьові газові турбіни, радіальні турбіни та їх регулювання

Тема 7. Багатоступеневі осьові газові турбіни, радіальні турбіни та їх регулювання.

Лекція 20-24

1. Багатоступеневі осьові турбіни.
 2. Основні параметри, зв'язок з параметрами ступенів.
 3. Вибір параметрів ступенів при проектуванні на розрахунковому режимі
 4. Особливості проектування охолоджуваних ступенів турбіни.
 5. Оцінки ефективності.
 6. Нерозрахункові режими роботи, характеристики багатоступеневої турбіни,
 7. Особливості сумісної роботи ступенів. Побудова характеристик.
 8. Засоби регулювання шляхом повороту СА.
 3. Особливості робочого процесу та проектування доцентрової газової турбіни.
- Самостійна робота:* опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з презентаціями та матеріалами у МЕНТОРІ, виконання індивідуального завдання, підготовка до модульного контролю.

Модульний контроль 2

5. Індивідуальні завдання

Розрахункова робота «Термогазодинамічний розрахунок турбореактивного двигуна».

6. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації

(при необхідності), самостійна робота здобувачів.

7. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, захист розрахункової роботи, фінальний контроль у вигляді іспиту.

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1			
Виконання РР	0...6		0...6
Захист РР	0...8		0...8
Складання модульного контролю			0...36
Разом за Модуль 1			0...50
Модуль 2			
Робота на практичних заняттях	0...4		0...4
Складання модульного контролю			0...46
Разом за Модуль 2			0...50
Всього за семестр			0...100

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

Білет для іспиту складається з двох теоретичних та одного практичного запитання, за які здобувач може отримати відповідно 40, 30 і 30 балів. Максимальна сума 100 балів.

Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь, виконати та захистити розрахункову роботу, знати класифікацію, схеми та принцип дії лопаткових машин, основні визначення параметрів, базові термо- та газодинамічні рівняння та співвідношення, що визначають процеси в лопаткових машинах, геометричні параметри ґраток профілів та їх характеристики.

Добре (75-89). Твердо знати основні теми курсу лекцій, виконати, захистити розрахункову роботу в обумовлені строки, обґрунтувати основні розрахунки та рівняння, що застосовуються; вміти пояснювати основні особливості течії в лопаткових машинах (ступенях та ґратках профілів) на

різноманітних режимах, вміти розв'язувати задачі з розрахунків параметрів течії, будувати плани швидкостей, визначати закони закрутки лопаток за висотою, відбирати найкращі, будувати графіки процесів в i-s діаграмі.

Відмінно (90-100). Повно та досконало знати лекційний матеріал, вміти його докладно пояснювати та застосовувати у розрахунках, вміти розв'язувати задачі, будувати i-s діаграми процесів у лопаткових машинах, демонструвати досконале володіння усім матеріалом, що викладався у курсі, на «відмінно» захистити розрахункову роботу.

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

9. Політика навчального курсу

Відвідування занять. Регуляція пропусків. Інтерактивний характер курсу передбачає обов'язкове відвідування лабораторних (практичних) занять. Здобувачі освіти, які за певних обставин не можуть відвідувати практичні заняття регулярно, повинні протягом тижня узгодити з викладачем графік індивідуального відпрацювання пропущених занять. Окремі пропущені заняття мають бути відпрацьовані на найближчій консультації протягом тижня після їх пропуску. Відпрацювання занять здійснюється усно в формі співбесіди за питаннями, визначеними планом заняття. В окремих випадках дозволяється письмове відпрацювання пропущених занять шляхом виконання індивідуального письмового завдання.

Дотримання вимог академічної доброчесності здобувачами освіти під час вивчення навчальної дисципліни. Під час вивчення навчальної дисципліни здобувачі освіти мають дотримуватися загальноприйнятих морально-етичних норм і правил поведінки, вимог академічної доброчесності, передбачених Положенням про академічну доброчесність Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu/assets/files/polozhennya/polozhenlya-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdt>) . Очікується, що роботи здобувачів освіти будуть їх оригінальними дослідженнями або міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикавання джерел, списування, втручання в роботу інших здобувачів освіти становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі здобувача освіти є підставою

для її незарахування викладачем незалежно від масштабів плагіату чи обману. У разі виконання індивідуальної самостійної роботи до захисту допускаються роботи, які містять не менше 60 % оригінального тексту під час перевірки на плагіат.

Вирішення конфліктів. Порядок і процедури врегулювання конфліктів, пов'язаних із корупційними діями, зіткненням інтересів, різними формами дискримінації, сексуальними домаганнями, міжособистісними стосунками та іншими ситуаціями, що можуть виникнути під час навчання, а також правила етичної поведінки регламентуються Кодексом етичної поведінки в Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu.ua/university/nonnativnaB-baza/ustanovchi-dokumenti/kodeks-etichnoi-povedinki/>).

10. Методичне забезпечення

1. Базові підручники та навчально-методичні посібники наведені в п. 14 Рекомендована література.
2. Підручники, навчальні посібники, навчально-методичні посібники, конспекти лекцій, методичні рекомендації з проведення лабораторних робіт тощо, які видані в Університеті знаходяться за посиланням:
http://library.khai.edu/catalog?clear_all_params=0&mode=BookList&lang=ukr&caller_mode=Disciplines&disciplinesearch=yes&combiningAND=1&theme_cond=all_theme&is_ttp=0&search_fld=&discipline_list=820&speciality_list=292&course_list=0&recommend_select=0&action=subscribe&list_id=1&email=
3. Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=2669>

11. Рекомендована література

Базова

1. Терещенко Ю.М., Бойко Л.Г., Мамлюк О.В. Газотурбінні двигуни літальних апаратів. Допущено Міністерством освіти і науки України. Підручник для студентів вищих закладів освіти. К.: Вища шк., 2000. 319с.
2. Теорія теплових двигунів. Підручник / Ю.М. Терещенко, Л.Г. Бойко, С.О. Дмитрієв та ін.; за ред. Ю.М. Терещенка. – К.: Вища шк., 2001. – 382 с.
3. Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт з дисципліни «Теорія і розрахунок лопаткових машин», Харків, «ХАІ», кафедра Теорії авіаційних двигунів, 2023 р.
4. Поздняков В.О., Бойко Л.Г., Герасименко В.П., Редін І.І., Кіслов О.В. Комп'ютерна програма: Комплексна система курсового і дипломного проектування. Харків, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Реєстр. номер 3569 від 23.10.17.
5. Конспект лекцій з ТРЛМ на платформі Ментор

Допоміжна

1. Boyce M. Gas Turbine Engineering Handbook, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2, SDP, UK, 2001. 936 p.
<https://soaneemrana.org/onewebmedia/GAS%20TURBINE%20ENGINEERING%20HAND%20BOOK%20BY%20MEHERWAN%20P.%20BOYCE%20%282nd%20Edition%29.pdf>
2. Rolls Royce. The Jet Engine. Rolls Royce the technical publication department. Derby England, 1996. 278 p.
<http://www.valentiniweb.com/piermo/meccanica/mat/Rolls%20Royce%20-%20The%20Jet%20Engine.pdf>

12. Інформаційні ресурси

1. Освітній сайт Національного аерокосмічного університету «ХАІ»
<https://khai.edu.ua/>
2. Науково-технічна бібліотека Національного аерокосмічного університету «ХАІ» <https://library.khai.edu/>
3. Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=2669>
4. Сайт кафедри <http://k201.khai.edu>.