

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

В. В. Павліков
(підпис) (ініціали та прізвище)

« » 2020 р.
Відділ аспірантури і докторантури

**РОБОЧА ПРОГРАМА
ОБОВ'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Наукові проблеми удосконалення робочих процесів

об'єктів енергетичного машинобудування

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

Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: «Енергетичне машинобудування»
(найменування)

Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

Форма навчання: заочна
денна // заочна

Харків – 2020

**РОБОЧА ПРОГРАМА
ОБОВ'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Наукові проблеми удосконалення робочих процесів
об'єктів енергетичного машинобудування**

(назва дисципліни)

«18» _____ серпня _____ 2020 р., – 11 с.

Розробник: зав. кафедри., д-р. техн. наук, проф.
(посада, науковий ступінь та в



Л.Г. Бойко
(прізвище та ініціали)

Гарант ОНП



проф. Єпіфанов С.В.

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач відділу
аспірантури і докторантури



В. Б. Селевко

Голова наукового товариства
студентів, аспірантів,
докторантів і молодих вчених



Т. П. Старовойт

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни. (заочна форма навчання)
Кількість кредитів – 7,5	Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> (шифр та найменування) Спеціальність <u>142 «Енергетичне машинобудування»</u> (код та найменування) Рівень вищої освіти: <u>третій (освітньо-науковий)</u>	Обов'язкова компонента
Кількість модулів – 1		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 1		2020/2021
Індивідуальні завдання:		Семестр
		3-й
Загальна кількість годин – 24/225		Лекції ¹⁾
		8 год.
		Практичні ¹⁾
		16 год.
		Лабораторні ¹⁾
		–
		Самостійна робота
		201 год.
Кількість тижневих годин для заочної форми навчання: аудиторних – 1,5 год. самостійної роботи здобувача – 12,5 год.		Вид контролю
		Модульний контроль, іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить - $24/201=0,12$

¹⁾ Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: вивчення особливостей робочих процесів об'єктів енергетичного машинобудування, визначення наукових проблем їх удосконалення та шляхів їх вирішення.

Завдання: придбання навичок аналізування робочих процесів в об'єктах енергетичного машинобудування, формулювання наукових проблем та шляхів їх вирішення.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні досягти таких **компетентностей:**

Загальні:

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу

ЗК02. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

Спеціальні (фахові):

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері енергетичного машинобудування та дотичних до неї (нього, них) міждисциплінарних напрямів і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з в галузі електричної інженерії, та суміжних галузей.

СК03. Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності

СК09. Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем наукового пізнання, а також до застосування сучасних методологій, методів та інструментів педагогічної та наукової діяльності у сфері енергетичного машинобудування.

Програмні результати навчання:

РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з енергетичного машинобудування і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідної галузі, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

РН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень (опитувань, спостережень, ...) і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

РН04. Розробляти, проектувати, модернізувати складні об'єкти енергетичного машинобудування, формувати вимоги до них, аналізувати адекватність методології проектування.

РН07. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми енергетичного машинобудування з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.

РН08. Розуміти загальні принципи та методи енергетичного машинобудування, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері енергетичного машинобудування та у викладацькій практиці.

РН10. Здійснювати пошук та критичний аналіз інформації, концептуалізацію та реалізацію наукових проектів з енергетичного машинобудування.

РН12. Знати сучасні підходи та засоби моделювання робочих процесів досліджуваних об'єктів та процесів управління, в тому числі в аерокосмічній галузі, вміти створювати нові, вдосконалювати та розвивати моделі систем та елементів об'єктів енергетичного машинобудування

Міждисциплінарні зв'язки. Вивчення курсу « Наукові проблеми удосконалення робочих процесів об'єктів енергетичного машинобудування» базується на загальних знаннях з таких дисциплін як «Теорія і розрахунок лопаткових машин», «Теорія газотурбінних двигунів і установок», «Методи розрахунку та проектування лопаткових машин».

Вивчення дисципліни надає підставу для подальшого навчання за дисциплінами «Теоретичні аспекти газодинамічного проектування та математичне моделювання газотурбінних двигунів» «Проблеми нестійкості і методи експериментальних досліджень турбомашин». Отримані знання є основою для успішної роботи над випускною роботою для отримання ступеня доктора філософії.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовний модуль 1. Загальні питання підвищення досконалості робочих процесів в об'єктах енергетичного машинобудування.

Тема 1. Різноманіття об'єктів енергетичного машинобудування та області їх застосування. Класифікація газотурбінних двигунів і установок. Області застосування. Газотурбінні двигуни у якості привода, для наземного використання.

Тема 2. Основні параметри робочого процесу енергетичної установки. Питомі параметри і ККД: питома тяга, питома потужність, питомі витрати палива, загальний ККД та його зв'язок з питомою витратою пального, внутрішній та тяговий ККД, енергетичний баланс двигуна.

Тема 3. Оптимізація параметрів циклу. Основні закономірності робочого процесу в газотурбінних двигунах. Зміна параметрів течії уздовж газодинамічного тракту. i - S діаграма процесу в основному контурі. Корисна робота цикла, її залежність від параметрів робочого процесу. Оптимізація параметрів цикла – шлях до удосконалення ГТД. Взаємозв'язок корисної роботи цикла питомої тяги, питомої витрати палива та ступеня підвищення тиску. Оптимальне значення ступеня підвищення тиску (економічне π_k^*). Залежність корисної роботи цикла, питомої тяги та питомої витрати палива від ступеня підігріву повітря. Залежність роботи цикла від ККД процесів стиснення, розширення.

Тема 4. Визначення шляхів удосконалення параметрів цикла та питомих параметрів двигуна. Методологія вибору параметрів на початковому етапі проектування двигуна.

Тема 5. Наукові проблеми та шляхи удосконалення параметрів основних вузлів двигуна. Удосконалення параметрів лопаткових машин шляхом застосування розрахункових підходів. Існуючі підходи до проектування лопаткових машин. Пряма та зворотна задачі теорії турбомашин. Класифікація існуючих методів за ознаками стаціонарності, стисливості, в'язких властивостей та вимірності течії. 1-D, 2-D та 3-D-підходи до проектування та аналізу течії в лопаткових машинах. Їх застосування на різних етапах проектування і доводки.

Тема 6. Наукові проблеми підвищення параметрів компресорів (ізолювані ступені). Основні параметри (газодинамічні та геометричні) осьових компресорів. Взаємозв'язок та сумісна робота граток профілів, розташованих на різних радіусах. Класичні закони профілювання ступенів та їх модифікація з метою удосконалення параметрів. Залежність від зміни роботи за радіусом. Еволюція форм профілів: дозвукові, надзвукові, надкритичні. Існуючі підходи до їх побудови та підвищення ККД. Характеристики ступенів. Границя стійких режимів, шляхи уникнення нестійкості та розширення робочого діапазону ступеня.

Тема 7. Питання удосконалення багатоступеневих компресорів. Взаємовплив та особливості сумісної роботи ступенів у багатоступеневих компресорах. Характеристики багатоступеневих компресорів. Вплив зміни частоти обертання та витрати на режими роботи ступенів. Нестійкі режими роботи, шляхи їх запобігання.

Тема 8. Удосконалення параметрів осьових турбін. Основні параметри та особливості їх роботи. Характеристики граток профілів. Профілювання лопаток турбін за висотою. Високонавантажені ступені турбін низького тиску. Вплив різних факторів та їх використання до підвищення ККД. Охолодження лопаткових вінців. Вибір оптимальної витрати охолоджуючого повітря. Сумісна робота ступенів у багатоступеневій турбіні, режими їх роботи. Її вплив на характеристики турбін.

Тема 9. Підвищення параметрів турбомашин шляхом їх регулювання. Перепуск повітря з проточної частини, його вплив на сумарні характеристики та особливості обтікання ступенів до- та після клапанів перепуску. Регулювання компресорів шляхом повороту лопаткових вінців

направляючих апаратів та робочих коліс. Регулювання багатоступеневих турбін шляхом використання поворотних соплових апаратів турбіни. Особливості розрахунку та підвищення параметрів охолоджуваних турбін.

Тема 10. Особливості проектування та вибору параметрів сучасних двигунів та енергетичних установок. Визначення рівня температур газу перед турбіною, сучасні матеріали, системи охолодження. Підвищення ступенів підвищення тиску у компресорах. Навантаження та рівень швидкостей у сучасних ступенях компресорів, малоступінчаті компресори. Шляхи підвищення запасів стійкості. Підвищення навантаження багатоступеневих турбін.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Усього	У тому числі				
		л	п	лаб.	інд.р.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7
Модуль 1						
Тема 1. Різноманіття об'єктів енергетичного машинобудування та області їх застосування	4	–	–	–	–	4
Тема 2. Основні параметри робочого процесу енергетичної установки	28	4	4	–	–	20
Тема 3. Основні закономірності робочого процесу в газотурбінних двигунах	30	–	–	–	–	30
Тема 4. Визначення шляхів удосконалення параметрів циклу та питомих параметрів двигуна	22	–	–	–	–	22
Тема 5. Удосконалення параметрів лопаткових машин шляхом застосування розрахункових підходів	20	–	–	–	–	20
Тема 6. Наукові проблеми підвищення параметрів ступенів компресорів	33	–	8	–	–	25
Тема 7. Питання удосконалення багатоступеневих компресорів	38	4	4	–	–	30
Тема 8. Удосконалення параметрів турбін	20	–	–	–	–	20
Тема 9. Підвищення параметрів турбомашин шляхом їх регулювання	20	–	–	–	–	20
Тема 10. Особливості проектування та вибору параметрів сучасних двигунів та енергоустановок	10	–	–	–	–	10
Модульний контроль	–	–	–	–	–	–
Разом за модулем 1	225	8	16	–	–	201
Усього годин за семестр	225	8	16	–	–	201

5. Теми семінарських занять

№	Назви занять	Кількість годин
Не передбачено навчальним планом		

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні параметри робочого процесу енергетичної установки. Вибір параметрів для проектування газотурбінного двигуна	2
2	Розрахунок питомих параметрів газотурбінного двигуна. Забезпечення заданих значень тяги (потужності). Визначення шляхів оптимізації параметрів циклу ГТД	2
3	Розрахунок характеристик ґраток профілів компресорного ступеня за допомогою ПК TRANS	4
4	Удосконалення форми профілів у ґратках з метою зниження втрат на надкритичних режимах	4
5	Дослідження течії в багатоступеневому компресорі у вісьосиметричній постановці. Розрахунок характеристик. Шляхи удосконалення.	4
Разом		16

7. Теми лабораторних занять

№	Назви занять	Кількість годин
Не передбачено навчальним планом		

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вивчення різноманіття об'єктів енергетичного машинобудування. Основні параметри. Класифікація газотурбінних установок	8
2	Основні параметри робочого процесу газотурбінного двигуна.	12
3	Питомі параметри і ККД, зв'язок між ними.	10
4	Енергетичний баланс двигуна.	12
5	Зображення термодинамічного циклу газотурбінних двигунів різних типів в i-S діаграмі.	12
6	Корисна робота циклу.	8
7	Оптимізація параметрів циклу (π_k^* , π_r^*). Її роль в удосконаленні ГТД, її зв'язок з параметрами циклу.	8
8	Методологія вибору параметрів ГТД на початковому етапі проектування.	10
9	Шляхи удосконалення параметрів газотурбінного двигуна.	10
10	Основні підходи до розрахункових досліджень лопаткових машин. Прямі та зворотні задачі теорії турбомашин.	12
11	Класифікація методів газодинамічного розрахунку лопаткових машин.	12
12	Основні параметри компресорів, шляхи їх одержання в процесі проектування, проектування.	8
13	Проектування ґраток профілів, їх взаємозв'язок в радіальному напрямку. Еволюція форм профілів в залежності від швидкостей течії	8
14	Характеристики ступенів, компресора визначення границі стійкої роботи.	12

15	Особливості сумісної роботи ступенів у багатоступеневому компресорі. Побудова сумарних характеристик.	8
16	Нестійкі режими багатоступеневих машин.	12
17	Особливості роботи сучасних турбін. Організація охолодження.	8
18	Шляхи підвищення ККД турбіни. Аналіз сумісної роботи ступенів у багатоступеневій турбіні Застосування регулювання багатоступеневих компресорів (шляхи та засоби). Його вплив на запаси стійкості	10
19	Регулювання багатоступеневої турбіни.	10
20	Параметри сучасних двигунів двигунів та конструктивні особливості	11
Разом		201

9. Індивідуальні завдання

№	Назви занять	Кількість годин
Не передбачено навчальним планом		

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота здобувачів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники), а також в літературних джерелах.

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, захист практичних робіт, іспит.

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови здобувача від балів поточного тестування та за наявності допуску до іспиту у вигляді письмового іспиту (комплексне завдання). При складанні семестрового іспиту має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох запитань за які відповідно встановлюються максимальні оцінки: 50 балів.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

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

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1			
Робота на лекційних заняттях	0 – 2		0 – 8
Виконання практичних робіт	0 – 6	4	0 – 24
Захист практичних робіт	0 – 4	4	0 – 16
Складання модульного контролю	0 – 52	1	0 – 52
Разом за Модуль 1			0...100
Всього за семестр			0...100

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- основні параметри робочого процесу в енергетичній установці;
- визначення питомої тяги, питомої витрати палива, внутрішнього, загального ККД;
- основні закономірності робочого процесу в ГТД;
- поняття оптимальних параметрів циклу ГТД;

– існуючі підходи до проектування лопаткових машин та етапи проектування двигуна, на яких вони застосовуються;

- основні параметри лопаткових машин (геометричні, газодинамічні);
- класичні та перспективні закони профілювання;
- області застосування різних типів профілів: до-, надзвукових та надкритичних форм;
- засоби побудови профілів «нетрадиційних» форм під задані умови течії;
- існуючі шляхи підвищення параметрів ступенів компресора;
- існуючі шляхи поліпшення узгодженості роботи ступенів у багатоступеневому компресорі;
- особливості режимів роботи сучасних високонапірних ступенів турбін;
- особливості сумісної роботи багатоступеневих турбін;
- існуючі підходи до регулювання багатоступеневих компресорів;
- засоби регулювання багатоступеневих турбін;
- шляхи зниження шкідливих викидів в атмосферу;
- внесок різних вузлів двигуна щодо шумового впливу на навколишнє середовище;

Необхідний обсяг умінь для одержання позитивної оцінки:

- встановлювати зв'язок між питомими параметрами двигуна, внутрішнім і загальним ККД, а також параметрами робочого процесу;
- оцінювати вплив основних параметрів двигуна на корисну роботу циклу;
- обирати основні параметри робочого процесу при «зав'язці» двигуна, та їх оптимізувати;
- оцінювати вплив втрат енергії в проточній частині двигуна з метою підвищення його параметрів;
- обирати відповідні методи розрахунку при різних етапах проектування лопаткових машин;
- обирати раціональний закон профілювання лопаткових машин за радіусом;
- обирати форми профілів залежно від області застосування та основи побудови до-, надзвукових та надкритичних форм профілів;
- обирати шляхи підвищення параметрів ізольованих ступенів та багатоступеневих компресорів;
- оцінювати межу стійкої роботи компресорів розрахунковими шляхами;
- знаходити параметри охолодження ступенів турбіни;
- обирати засоби регулювання та підвищення параметрів багатоступеневих компресорів;
- оцінювати вплив відбору повітря з проточної частини багатоступеневих компресорів;
- оцінювати особливості регулювання багатоступеневих турбін;

12.3. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання оцінки:

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь, виконати розрахункові практичні роботи, знати класифікацію, схеми та принцип дії газотурбінного двигуна та його вузлів, машин, основні визначення параметрів, базові термо- та газодинамічні рівняння, що визначають процеси, характеристики основних вузлів та двигуна в цілому.

Добре (75-89). Твердо знати основні теми курсу лекцій, виконати та захистити практичні роботи, вміти обґрунтувати основні розрахунки за допомогою рівнянь, вміти пояснювати особливості течії в проточній частині двигуна та лопаткових машинах (ступенях і гратках профілів) на різноманітних режимах, вміти розв'язувати завдання з розрахунків параметрів течії, будувати i-s діаграми процесів, будувати характеристики ступенів турбіни та вісьового компресора, а також багатоступеневих машин знати шляхи удосконалення параметрів енергоустановок.

Відмінно (90-100). Повно та досконало знати лекційний матеріал, вміти його докладно викласти, пояснити та застосовувати у розрахунках, пояснювати особливості течії на різних режимах та зміну параметрів, виконати на «відмінно» і захистити усі практичні роботи.

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. Герасименко В.П. Теорія авіаційних двигунів. // Підручник – Х.: ХАІ, 2003.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510098412
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. – 381 с.
[http://www.e-catalog.name/x/x/x?LNG=&C21COM=S&I21DBN=NBUV&P21DBN=NBUV&S21FMT=fullwebr&S21ALL=\(%3C.%3EA%3D%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE,%20%D0%AE%D1%80%D1%96%D0%B9%20%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B2%D1%96%D0%B9%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87\\$%3C.%3E\)&Z21ID=&S21SRW=AVHEAD&S21SRD=&S21STN=1&S21REF=&S21CNR=20](http://www.e-catalog.name/x/x/x?LNG=&C21COM=S&I21DBN=NBUV&P21DBN=NBUV&S21FMT=fullwebr&S21ALL=(%3C.%3EA%3D%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE,%20%D0%AE%D1%80%D1%96%D0%B9%20%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B2%D1%96%D0%B9%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87$%3C.%3E)&Z21ID=&S21SRW=AVHEAD&S21SRD=&S21STN=1&S21REF=&S21CNR=20) **BC35904**
3. Газотурбінні двигуни літальних апаратів: Підручник / Ю.М. Терещенко, Л.Г. Бойко, О.В. Мамлюк; За ред. Ю.М. Терещенка. – К.: Вища шк., 2000. – 319 с.
[http://www.e-catalog.name/x/x/x?LNG=&C21COM=S&I21DBN=NBUV&P21DBN=NBUV&S21FMT=fullwebr&S21ALL=\(%3C.%3EA%3D%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE,%20%D0%AE%D1%80%D1%96%D0%B9%20%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B2%D1%96%D0%B9%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87\\$%3C.%3E\)&Z21ID=&S21SRW=AVHEAD&S21SRD=&S21STN=1&S21REF=&S21CNR=20](http://www.e-catalog.name/x/x/x?LNG=&C21COM=S&I21DBN=NBUV&P21DBN=NBUV&S21FMT=fullwebr&S21ALL=(%3C.%3EA%3D%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE,%20%D0%AE%D1%80%D1%96%D0%B9%20%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B2%D1%96%D0%B9%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87$%3C.%3E)&Z21ID=&S21SRW=AVHEAD&S21SRD=&S21STN=1&S21REF=&S21CNR=20) **BC34451**

14. Рекомендована література

Базова

1. Бойко Л.Г., Дьомін А.Є. Методи розрахунку і проектування лопаткових машин. Ч. 1. Чисельне дослідження до-, транс- і надзвукових течій в компресорних решітках профілів. Уч. допомога. // Л.Г. Бойко, А.Є. Дьомін. - Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. Н.Є. Жуковського «Харк. авіація. ін-т». - 2016. - 80 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510473059
2. Павленко Г.В. Термогазодинамічний розрахунок газотурбінних двигунів і установок. Харків, ХАІ. - 2007. - 64 с.
https://library.khai.edu/catalog?mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&docid=510246054
3. Кампсті Н. Аеродинаміка компресорів / Н. Кампсті / Пер. з англ. - М.: Світ, 2000. - 688 с.
4. Гостелуу Дж. / Аеродинаміка решіток турбомашин / Дж. Гостелуу. - М.: Мир. - 1987. - 392 с.

5. Холщевніков К.В., Емін О.Н., Мітрохін В.Т. Теорія і розрахунок авіаційних лопаткових машин. - М.: Машинобудування, 1986.- 432 с.

Допоміжна

1. Бойко А.В. / Аеродинамічний розрахунок і оптимальне проектування проточної частини турбомашин / А.В. Бойко, Ю.Н. Говорущенко, С.В. Єршов, А.В. Русанов, Северин. - Харків. - НТУ ХПІ. - 2002. - 355 с.
2. Boyce M.P. Gas Turbine Engineering. Handbook, Elsevier Inc., 2006. – 936 p.
3. Heneske K. Yet Engines Fundamentals of Theory, Design and Operation. Motor books International Publishers, Great Britain, 2003. – 241 p.
4. Cohen H., Rogers G.F.C., Saravanamuttoo H.J.H., Gas Turbine Theory, London Group Limited, T.J. Press, Padstow, Cornwall. – 442 p.
5. Giampaolo A. Gas Turbine Hand Book. Principles and Practices. Third Edition. Faimont Press. Inc. – 2006. – 437 p.
6. Walsh P.P., Fletcher P. Gas Turbine Performance. – Blackwell Science Ltd. – Blackwell Publishing Company. – 2004. – 246 p.

15. Інформаційні ресурси

Вивчені попередньо навчальні дисципліни, конспект лекцій, джерела з Інтернету.

Інтернет-адреса постійного розміщення опису робочої програми:

<https://khai.edu.ua/education/osvitni-programi-i-komponenti/osvitni-programi-phd/energetichne-mashinobuduvannya2/perelik-komponentiv16/>

Сайт кафедри <http://k201.khai.edu>