


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

Кафедра «Теорії авіаційних двигунів» (№201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми


(підпис)

Л. Г. БОЙКО
(ініціали та прізвище)

«28» серпня 2024 р.

СИЛАБУС ОBOB'ЯЗKОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Термодинамічний аналіз парогазових циклів

(назва навчальної дисципліни)

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

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

Освітня програма: «Газотурбінні установки і компресорні станції»
(найменування освітньої програми)


Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Силабус введено в дію з 01.09.2024 року

Харків – 2024 р.

Розробник: Кіслов О.В., проф. каф. 201, к.т.н., доц.
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)



(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри теорії авіаційних двигунів (№ 201)

Протокол № 1 від «20» серпня 2024 р.

В.о. завідувача кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)



(підпис)

О.В. КІСЛОВ
(ініціали та прізвище)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

Староста групи 251



(підпис)

П.Є. ГОРБОВА
(ініціали та прізвище)

Загальна інформація про викладача



КІСЛОВ Олег Володимирович

Посада: професор кафедри Теорії авіаційних двигунів.

Науковий ступінь: кандидат технічних наук.

Вчене звання: доцент.

Викладацький стаж більше 36 років.

Перелік дисциплін, які викладає:

а) обов'язкові дисципліни:

- Теорія газотурбінних двигунів;
- Конверсія авіаційних двигунів в енергоустановки;
- Термодинамічний аналіз парогазових циклів;

б) вибіркові дисципліни.

Напрями наукових досліджень: теорія повітряно-реактивних двигунів; математичне моделювання робочого процесу і характеристик повітряно-реактивних двигунів та їх елементів, узгодження силових установок з літальними апаратами; конверсія авіаційних двигунів в наземні газотурбінні установки; комбіновані парогазові установки.

1. Опис навчальної дисципліни

Форма навчання – денна, дистанційна, дуальна.

Семестр, в якому викладається дисципліна – 1 семестр.

Дисципліна – обов'язкова.

Загальна кількість годин за навчальним планом - 180 годин/6 кредитів ЄКТС, у тому числі аудиторних – 64 годин, самостійної роботи здобувачів – 116 годин.

Види занять – лекції, лабораторні заняття, самостійна робота здобувача.

Види контролю – поточний, модульний та підсумковий (семестровий) контроль (іспит).

Мова викладання – українська.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета – теоретично і практично підготувати майбутніх фахівців до проектування парогазових теплоенергетичних установок.

Завдання – вивчення методів аналізу циклів; схем та циклів паросилових установок; принципів комбінування циклів; схем та циклів комбінованих парогазових теплоенергетичних установок; впливу регенерації, утилізації тепла вихлопних газів ГТД, хімічного складу газу на вході в турбіну (урахування упорскування пари) на основні показники енергоустановок; методів визначення оптимальних параметрів циклу.

Компетентності, які набуваються:

1) **Загальні :**

- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;

- здатність до проведення досліджень;
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;
- здатність генерувати нові ідеї (креативність);
- здатність приймати обґрунтовані рішення;
- здатність вести професійну, у тому числі науково-дослідну діяльність у міжнародному середовищі;
- здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт;
- прагнення до збереження навколишнього середовища;
- здатність ухвалювати рішення та діяти, дотримуючись принципу неприпустимості корупції та будь-яких інших проявів недоброчесності;

2) Фахові :

- здатність продемонструвати всебічні знання в галузі газотурбобудування та перспективи її розвитку;
- здатність продемонструвати передові знання в газотурбобудуванні; енергозберігаючих технологіях; компресорних технологіях;
- здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення складних інженерних завдань з використанням спеціальних і загальнонавчаних методів;
- здатність до систематичного вивчення та аналізу науково-технічної інформації, вітчизняного і закордонного досвіду з досягнень в галузі енергетичного машинобудування;
- здатність аналізувати необхідну інформацію, технічні дані, показники та результати роботи, систематизувати їх і узагальнювати з метою покращення характеристик енергетичного і теплотехнологічного обладнання, створення нових технологій і модернізації виробництва;
- здатність розробляти і впроваджувати енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання;
- здатність проводити аналіз конкурентних розробок та здійснювати техніко-економічне обґрунтування, організувати та виконувати наукові дослідження, пов'язані з розробленням та впровадженням інноваційних проектів і програм в галузі енергетичного машинобудування;
- здатність розробляти фізичні й математичні моделі процесів в енергетичному і технологічному обладнанні з аналізом результатів і розробкою методик розрахунку обладнання (шляхом порівняння з результатами експериментальних досліджень).

Очікувані результати навчання:

- знання і розуміння спеціальних розділів термодинаміки, теорії тепломасообміну, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, що лежать в основі освітньої програми «Газотурбінні установки і компресорні станції», на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньо-професійної програми;
- знання і розуміння інженерних дисциплін, що лежать в основі освітньої програми «Газотурбінні установки і компресорні станції», на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньо-професійної програми, в тому числі обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки в галузі;
- здатність критично осмислювати проблеми газотурбобудування і компресорних станцій, у тому числі на межі з іншими галузями, зокрема з інженерними науками, фізикою, хімією, екологією, економікою;
- здатність розуміти, аналізувати і використовувати у професійній діяльності інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до освітньої програми

- «Газотурбінні установки і компресорні станції»; обирати і застосовувати аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; інтерпретувати і впроваджувати результати таких досліджень;
- здатність розв'язувати складні інженерні завдання і проблеми газотурбобудування і компресорних станцій, що потребує оновлення та інтеграції знань, у тому числі в умовах неповної / недостатньої інформації та суперечливих вимог;
 - здатність приймати рішення з інженерних питань газотурбобудування і компресорних станцій у складних і непередбачуваних умовах, у тому числі із застосуванням прогнозування та сучасних засобів підтримки прийняття рішень;
 - здатність застосовувати свої знання і розуміння при розробці проектів згідно з визначеними та описаними вимогами;
 - здатність розраховувати і проектувати вироби в галузі газотурбобудування і компресорних станцій, процеси і системи, що задовольняють встановленим вимогам, які включають обізнаність про нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) аспекти; обрання і застосовування адекватної методології проектування;
 - здатність провадити дослідницьку та/або інноваційну діяльність в сфері газотурбобудування і компресорних станцій;
 - здатність використовувати сучасний інструментарій (створення, вибір і застосування відповідних технологій, ресурсів і інженерних методик, включаючи прогнозування й моделювання) для проведення комплексної інженерної діяльності за освітньою програмою «Газотурбінні установки і компресорні станції»;
 - уміння поєднувати теорію і практику для вирішення інженерних завдань газотурбобудування і компресорних станцій;
 - здатність зрозуміло і недвозначно доносити власні висновки з проблем газотурбобудування і компресорних станцій, а також знання та пояснення, що їх обґрунтовують, до фахівців і нефахівців, зокрема до осіб, які навчаються;
 - здатність до розуміння необхідності самостійного навчання протягом життя.

Пререквізити:

для вивчення дисципліни «Термодинамічний аналіз парогазових циклів» потрібні знання, одержані на бакалаврському рівні вищої освіти при вивченні дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Хімія та основи екології», «Технічна термодинаміка», «Гідрогазодинаміка», «Теорія газотурбінних двигунів і установок», «Теорія та розрахунок лопатевих машин», «Теплообмінне обладнання в енергетиці та газовій галузі»

Кореквізити:

дисципліна «Термодинамічний аналіз парогазових циклів» вивчається супутно з дисциплінами «Екологічні аспекти проектування газотурбінних установок» та «Турбодетандери, компресори та обладнання компресорних станцій».

Постреквізити: дисципліна «Термодинамічний аналіз парогазових циклів» забезпечує вивчення дисциплін «Конверсія авіаційних двигунів в енергоустановки», «Газодинамічна нестійкість турбокомпресорів».

3. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовий модуль 1. Термодинамічні методи аналізу циклів теплових машин

Вступ до дисципліни «Термодинамічний аналіз парогазових циклів»

Загальна кількість годин на тему – 8 годин.

Предмет вивчення і задачі дисципліни. Місце дисципліни в навчальному плані. Тенденція розвитку енергетики. Зміни у структурі вироблення електроенергії в світі. Основні

напрямки технічного розвитку енергетики. Європейські енергетичні системи. Питомі капітальні витрати, собівартість відпуску електроенергії, екологічні проблеми для різних типів енергоустановок.

Лекція 1. Вступ – 1-2 години.

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 7-6 годин.

Самостійна робота здобувачів: опрацювання матеріалу лекцій. Ознайомлення з тенденціями розвитку енергетики за допомогою науково-технічних джерел інформації. Формування питань до викладача.

Види контролю – поточний.

Тема 1 Термодинамічні методи аналізу циклів теплових машин

Загальна кількість годин на тему – 34 годин.

Класифікація методів аналізу циклів теплових машин. Аналіз циклів теплових машин методом термодинамічних ККД: ефективний ККД газотурбінної установки, внутрішній ККД газотурбінного приводу, механічний ККД, ККД споживача потужності, відносний внутрішній ККД) та термічний ККД; зв'язки між ККД, лемма про заміну довільного циклу термодинамічно еквівалентним циклом Карно, теорема про цикл Карно, як цикл, що має максимальний термічний ККД, методи площ та середньотермодинамічних температур для визначення термічного ККД циклу. Ентропійний метод аналізу циклів теплових машин. Зовнішня та внутрішня незворотність. Збільшення ентропії термодинамічної системи як міра втрати роботоздатності. Рівняння Гюї-Стодоли. Ексергетичний метод аналізу циклів теплових машин. Ексергія теплоти та ексергія потоку. Вираз корисної роботи через ексергії, збільшення ентропії термодинамічної системи та температури довкілля. Ексергетичний ККД. Фізична сутність змінення ентальпії у процесах стиснення, розширення та теплообміну.

Лекція 1. Аналіз циклів теплових машин методом термодинамічних ККД

Лекція 2. Методи визначення термічного ККД циклу

Лекція 3. Ентропійний метод аналізу циклів теплових машин

Лекція 4. Ексергетичний метод аналізу циклів теплових машин.

Лабораторне заняття 1 (6 годин). Порівняльний аналіз схем парогазових установок

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 20 годин.

Самостійна робота здобувачів: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до лабораторних занять та до їх захисту. Робота за темою з навчальними посібниками. Формування питань до викладача. Підготовка до модульного контролю.

Види контролю – поточний (захист лабораторних робіт).

Змістовий модуль 2. Цикли паросилових установок

Тема 2. Цикли паросилових установок

Загальна кількість годин на тему – 50 годин.

Фазові перетворення рідина-пара. T_s - , i_s -діаграми води. Цикл Карно та схема паросилової установки, що реалізує його. Цикл Ренкіна та схема паросилової установки, що реалізує його. Цикл Ренкіна з пароперегрівом та схема паросилової установки, що реалізує його. Вплив початкових і кінцевих параметрів пари на термодинамічну ефективність циклу Ренкіна з пароперегрівом. Типи парових теплоенергетичних установок та порівняння їх ефективності. Шляхи підвищення ефективності циклів паротурбінних установок конденсаційного типу. Регенеративні цикли. Цикли з проміжним пароперегрівом. Особливості циклів теплофікаційних установок. Енергетичний та ексергетичний баланси паросилових установок.

Лекція 1. Фазові перетворення рідина-пара

Лекція 2. Цикли паросилових установок

Лекція 3. Типи парових теплоенергетичних установок та порівняння їх ефективності

Лекція 4. Регенеративні цикли

Лекція 5. Цикли з проміжним пароперегрівом та особливості циклів теплофікаційних установок

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 40 годин.

Самостійна робота здобувачів: опрацювання матеріалу лекцій. Робота за темою з навчальними посібниками. Самостійне вивчення питання «Енергетичний та ексергетичний баланси паросилових установок». Формування питань до викладача.

Підготовка до модульного контролю.

Види контролю – поточний .

Модульний контроль

Модуль 2.

Змістовий модуль 3. Комбіновані цикли парогазових установок

Тема 3. Комбіновані цикли парогазових установок

Загальна кількість годин на тему – 84 години.

Види комбінованих циклів. Бінарний цикл та його ефективність. Складений цикл та його ефективність. Порівняння бінарних та складених циклів. Вплив температурного розриву між верхнім та нижнім циклами на ефективність бінарного циклу. Порівняння бінарних циклів з «верхнім» та «нижнім» додатковим циклом. Критерій вибору «нижнього» циклу бінарних циклів. Загальні принципи комбінування циклів. Паро-паровий бінарний ртутно-водяний цикл та схема комбінованої установки. Паро-паровий частково бінарний ртутно-водяний цикл та схема комбінованої установки. Паро-паровий комбінований фреоно-водяний цикл з "нижньою надбудовою" та схема комбінованої установки. Бінарний цикл та схема парогазової установки з паросиловою турбіною. Вплив параметрів газового циклу на питомі параметри комбінованої ПГУ з паросиловою турбіною. QT – діаграма та її застосування до процесів утилізації тепла у котлі-утілізаторі комбінованої ПГУ. Ефект від застосування теплоутілізаційного контуру двох тисків. Тепловий розрахунок парогазових енергоустановок з контуром одного тиску. Особливості теплового розрахунку парогазових енергоустановок з теплоутілізаційним контуром двох тисків. Частково бінарний цикл та схема парогазової установки (STIG). Порівняння термодинамічної ефективності комбінованої ПГУ з паросиловою турбіною та ПГУ STIG. Вплив параметрів газового циклу та відносних витрат води на питомі параметри комбінованої ПГУ STIG. Алгоритм термогазодинамічного розрахунку ПГУ STIG. Парогазова установка із системою уводу та регенерації води.

Лекція 1. Види комбінованих циклів та принципи комбінування циклів

Лекція 2. Паро-парові бінарні цикли

Лекція 3. Бінарний цикл та схема парогазової установки з теплоутілізаційним контуром одного тиску

Лекція 4. Особливості парогазових енергоустановок з теплоутілізаційним контуром двох тисків

Лекція 5. Частково бінарний цикл та схема парогазової установки (STIG)

Лекція 6. Вплив параметрів газового циклу та відносних витрат води на питомі параметри комбінованої ПГУ STIG

Лабораторне заняття 1 (8 годин). Дослідження впливу параметрів циклу парогазової енергоустановки з теплоутілізаційним контуром одного тиску на її ефективність

Лабораторне заняття 2 (4 годин). Порівняння ефективності парогазових енергоустановок з теплоутілізаційними контурами одного та двох тисків

Лабораторне заняття 3 (6 годин) Оптимізація параметрів парового циклу парогазової енергоустановки з теплоутілізаційним контуром двох тисків

Лабораторне заняття 4 (8 годин). Дослідження впливу кількості пари, що упорскується на вхід у турбіну, на параметри парогазової енергоустановки (STIG).

Обсяг самостійної роботи здобувачів – 46 годин.

Самостійна робота здобувачів: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до лабораторних занять та до їх захисту. Робота за темою з навчальними посібниками.

Самостійне вивчення питань: 1. Алгоритм термогазодинамічного розрахунку парогазової енергоустановки STIG. 2. Парогазова установка із системою уводу та регенерації води.

Формування питань до викладача.

Виконання Розрахункової роботи «Порівняльний аналіз енергоефективності парогазових енергоустановок з утилізацією тепла вихлопних газів».

Підготовка до модульного контролю.

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

Модульний контроль

4. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним планом.

5. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій словесним та наочним методами, лабораторних занять методом практики, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники) та підручниками.

6. Методи контролю

Проведення поточного контролю, захист звітів з лабораторних робіт, розрахункової роботи, письмові модульні контролю, підсумковий контроль у вигляді іспиту.

7. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

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

№	Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1				
1	робота на лекційних заняттях			0 – 10
2	конспект лекцій	0 – 6	1	0 – 6
3	виконання лабораторної роботи	0 – 4	1	0 – 4
4	захист лабораторної роботи	0 – 2	1	0 – 2
5	складання модульного контролю	0 – 25	1	0 – 25
Разом за модуль 1				0 – 47
Модуль 2				
1	виконання лабораторної роботи	0 – 4	4	0 – 16
2	захист лабораторної роботи	0 – 2	4	0 – 8
3	виконання розрахункової роботи	0 – 6	1	0 – 6
4	захист розрахункової роботи	0 – 3	1	0 – 3
5	складання модульного контролю	0 – 20	1	0 – 20
Разом за модуль 2				0 – 53
Разом з дисципліни				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 питань, одне з яких відноситься до першого модуля, а інше – до другого. Кожне питання оцінюється 0...50 балів.

7.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- основні типи парових теплоенергетичних установок і їх особливості;
- шляхи підвищення ефективності циклів паросилових установок;
- вплив початкових і кінцевих параметрів пари на ефективність циклу Ренкіна;
- загальні принципи комбінування циклів;

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- відповідно до рекомендацій проводити термодинамічні розрахунки парогазових енергоустановок;
- проводити аналіз одержаних результатів з виявленням найвигідніших параметрів циклу установок різного призначення.

7.3 Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру:

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Захистити всі індивідуальні завдання та лабораторні роботи. Знати основні положення дисципліни при недостатньо глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему. Уміти використовувати програми розрахунку для одержання параметрів та характеристик комбінованих парогазових установок.

Добре (75-89). Володіти основними знаннями та умінями, що передбачені програмою дисципліни. Захистити всі індивідуальні завдання та лабораторні роботи. Знати основні положення дисципліни при достатньо глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему; достатньо вільно використовувати знання для аналізу типових задач. Уміти використовувати програми розрахунку для одержання параметрів та характеристик комбінованих парогазових установок, аналізувати одержані результати та робити правильні висновки.

Відмінно (90-100). Володіти всіма знаннями та умінями, що передбачені програмою дисципліни. Захистити всі індивідуальні завдання та лабораторні роботи. Знати всі положення дисципліни при глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему; вільно використовувати знання для аналізу типових та нетипових задач. Уміти використовувати програми розрахунку для одержання параметрів та характеристик комбінованих парогазових установок, аналізувати одержані результати, робити правильні висновки та розробляти рекомендації для їх покращання.

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

8. Політика навчального курсу

Відпрацювання пропущених занять відбувається відповідно до розкладу консультацій, за попереднім погодженням з викладачем. Для запобігання академічної недоброчесності здобувачі виконують індивідуалізовані завдання, які прив'язані до ГТД з різними параметрами циклу. Контроль за дотриманням академічної доброчесності здійснює викладач, керуючись Положенням про академічну доброчесність.

9. Методичне забезпечення

1. Аналіз термогазодинамічних циклів газопарових і парогазових установок: Збірник лабораторних робіт / А. Г. Волов, Г. В. Павленко, А. С. Хоменко ; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. С. Жуковського «Харк. авіац. ін-т» – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.С. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2008. – 49 с.
<http://library.khai.edu/library/fulltexts/m2008/Analiz termogazodinamicheskikh ciklov gazoparovyh i parogazovyh ustanovok.pdf>
2. Волов А.Г., Кравченко І.Ф., Фесенко К.В. Обладнання газоперекачувальних агрегатів і енергетичних установок: Довідниковий посібник / А. Г. Волов, І. Ф. Кравченко, К. В. Фесенко ; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. С. Жуковського «Харк. авіац. ін-т» – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.С. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2008. – 65 с.
<http://library.khai.edu/library/fulltexts/m2008/Oborudovanie gazoperekachivajuschih agregatov i energeticheskikh ustanovok.pdf>
3. Романов В.В., Коваль В.А., Грига А.Д. Розрахунок параметрів парогазової енергетичної установки с теплоутілізаційним контуром двох тисків. Харків, ХАІ, 1992. – 21 с.

На сайті кафедри 201 (адреса вказана у п.15 «Інформаційні ресурси») розміщено **навчально-методичний комплекс дисципліни, який включає в себе:**

- силабус дисципліни;
- конспект лекцій, підручники (навчальні посібники), в тому числі в електронному вигляді, які за змістом повністю відповідають робочій програмі дисципліни;
- методичні вказівки та рекомендації для розрахункової роботи, лабораторних робіт, а також для самостійної підготовки здобувачів;
- тематики індивідуальних завдань;
- питання, тести для контрольних заходів;
- каталоги інформаційних ресурсів.

10. Рекомендована література

Базова

1. Константинов С. М. Технічна термодинаміка [Текст] : Підруч. для студ. вищ. техн. навч. закл. / С. М. Константинов. - К. : "Політехніка" при НТУУ "КПІ", 2001. - 368 с. ВА605578.
2. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка. - К.: Техніка, 2001 – 320 с.
3. J. H. Horlock. Advanced gas turbine cycles. Cambridge, U.K., Pergamon, 2003. ISBN 0-08-044273-0.
<https://aerostarsolutions.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/10/advanced-gas-turbine-cycles.pdf>
4. Cohen, H., Rogers, G.F.C., and Saravanamuttoo, H.I.H., Gas Turbine Theory, John Wiley & Sons, New York, 1972. URL:
<https://soaneemrana.org/onewebmedia/GAS%20TURBINE%20THEORY%20BY%20H%20I%20H%20COHEN%20&%20GFC%20ROGERS.pdf>

Допоміжна

1. Константинов С.М., Панов Є.М. Теоретичні основи теплотехніки: Підручник. – К.: «Золоті Ворота», 2012. – 592 с.
2. Долгополов І.С. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна термодинаміка». <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-k184.pdf>

11. Інформаційні ресурси

1. Освітній сайт Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» <https://khai.edu/ua/>
2. Науково-технічна бібліотека Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» <https://library.khai.edu/>
3. Сторінка дисципліни у системі дистанційного навчання МЕНТОР за посиланням: <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=2677>
4. Сайт кафедри <https://k201.khai.edu> .