

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

Кафедра «Аерокосмічної теплотехніки» (№ 205)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



(підпис)

Сергій ГУБІН

(ім'я та прізвище)

« 29 » 08 2025 р.

СИЛАБУС ОBOB'ЯЗKОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Технічна термодинаміка

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 14 Електрична інженерія

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії

(найменування освітньої програми)

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Силабус введено в дію з 01.09.2025 року

Харків – 2025 р.

Розробник: Проф. каф. 205, д-р техн. наук, доц. Павло ГАКАЛІ

(посада, науковий ступінь і вчене звання ім'я та прізвище)


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри аерокосмічної
теплотехніки (№ 205)

Протокол № 1 від «20» серпня 2025 р.

В. о. зав. кафедри канд. техн. наук, доцент

(науковий ступінь і вчене звання)



(підпис)

Костянтин ЄПІФАНОВ

(ім'я та прізвище)

Погоджено з представником здобувачів освіти:


(підпис)

Дар'я ПАНАСЕНКО
(ім'я та прізвище)

1. Загальна інформація про викладача



ПІБ: Гакал Павло Григорович.

Посада: професор каф. аерокосмічної теплотехніки.

Науковий ступінь: д-р техн. наук.

Вчене звання: доцент.

Перелік дисциплін, які викладає:

- моделювання та розрахунок процесів в енергетичних системах;
- системи забезпечення теплового режиму.

Напрями наукових досліджень: інженерний синтез теплоенергетичних систем об'єктів аерокосмічної техніки.

Контактна інформація: +38 (097) 441-85-78, p.gakal@khai.edu

2. Опис навчальної дисципліни

Форма здобуття освіти	Денна
Семестр	3, 4
Мова викладання	Українська
Тип дисципліни	Обов'язкова
Обсяг дисципліни	9 кредитів ЄКТС/270 годин (120 аудиторних, з яких: лекції – 56, практичні – 16, лабораторні – 48; СРЗ – 150).
Види навчальної діяльності	Лекції, практичні та лабораторні заняття, самостійна робота.
Види контролю	Поточний контроль, модульний контроль, семестровий контроль – залік та іспит.
Пререквізити	Математичний аналіз.
Кореквізити	Фізика, математичний аналіз.

Постреквізити	Пристрої промислової електроніки нетрадиційних установок.
---------------	---

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета – формуванні системи знань, способів діяльності та творчих здібностей з математичних методів моделювання термодинамічних процесів в теплоенергетичних об'єктах.

Завдання – вивчити основні положення технічної термодинаміки, вміти використовувати їх для вирішення інженерних завдань в теплоенергетичній галузі.

Компетентності, які набуваються:

Загальні компетентності

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

- ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.
- ЗК02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

Фахові компетентності:

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

- ФК02. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.
- Очікується, що після опанування дисципліни здобувачем будуть досягнуті наступні програмні результати навчання і він буде:

Очікується, що після опанування дисципліни здобувачем будуть досягнуті наступні програмні результати навчання і він буде:

- ПР20 - Здатність продемонструвати знання і розуміння фундаментальних математичних і фізичних принципів, що лежать в основі роботи пристроїв нетрадиційної та відновлювальної енергетики.

4. Зміст навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Змістовний модуль 1. Концептуально-методологічний базис термодинаміки.

Тема 1. Феноменологічний підхід та основні визначення технічної термодинаміки.

- Ознайомлення з феноменологічним підходом технічної термодинаміки, поняттям термодинамічної системи, класифікацією термодинамічних систем, поняттям термодинамічного процесу та їх класифікацією, термодинамічним циклом.

- Під час самостійної роботи здобувач опрацьовує матеріали лекції, вирішує практичні задачі.

Тема 2. Термічні та калоричні параметри стану.

- Стисла характеристика термічних та калоричних параметрів стану. Структура рівняння стану. Рівняння стану для ідеального газу. Теплоємність. Визначення теплоємності за молекулярно-кінетичною теорією. Суміші ідеальних газів.

- Лабораторні заняття: «Ізотермне стиснення вуглекислого газу», «Аналіз продуктів згоряння як суміші ідеальних газів», розв'язання задач з визначення термічних параметрів стану з використанням рівняння ідеального газу, калоричних параметрів стану для чистого газу та суміші газів.

- Під час самостійної роботи здобувач опрацьовує матеріали лекції, готується до захисту лабораторної роботи, вирішує практичні задачі, виконує першу розрахункову роботу.

Тема 3. Параметри термодинамічного процесу. Перший закон термодинаміки.

- Параметри термодинамічного процесу: робота і теплота. Перший закон термодинаміки для закритої системи. Дві форми запису першого закону термодинаміки. Закон Джоуля. Рівняння Майєра. Характеристичні функції. Співвідношення Максвелла.

- Лабораторні заняття: «Визначення повноти згоряння палива в камері згоряння», «Заповнення вакуумованого резервуару».

- Під час самостійної роботи здобувач опрацьовує матеріали лекції, готується до захисту лабораторних робіт, вирішує практичні задачі з визначення параметрів термодинамічного процесу, з використанням першого закону термодинаміки, калоричних параметрів речовин з використанням співвідношень Максвелла.

Тема 4. Другий закон термодинаміки. Цикли теплових двигунів.

- Формулювання другого закону термодинаміки. Цикл Карно. Теорема Карно. Ентропія і другий закон. Основна термодинамічна тотожність – об'єднання першого і другого законів термодинаміки. Вплив нерівноважності на ефективність циклів. Методи порівняння рівноважних циклів. Загальне правило одержання високоефективного циклу теплового двигуна.

- Під час самостійної роботи здобувач опрацьовує матеріали лекції, вирішує практичні задачі з визначення параметрів циклу Карно, зміни ентропії в термодинамічних процесах, готується до модульного контролю.

Модульний контроль 1

Змістовий модуль № 2. Процеси у термомеханічних системах.

Тема 5. Термодинамічні процеси.

- Алгоритм аналізу узагальненого термодинамічного процесу. Ізохорний процес. Ізобарний процес. Ізотермічний процес. Адіабатний процес. Політропний процес і його узагальнююче значення. Основні групи термодинамічних процесів, їхні енергетичні характеристики.

- Під час самостійної роботи здобувач опрацьовує матеріали лекції, вирішує практичні задачі з визначення зміни термічних та калоричних параметрів, енергетичних характеристик термодинамічних процесів.

Тема 6. Перший закон термодинаміки для потоку. Компресори та детандери.

- Перший закон термодинаміки для потоку. Повні параметри. Рівноважна течія газу зі звершенням технічної роботи. Термодинамічний аналіз ідеальних компресорів і детандерів. Вплив нерівноважності на процеси стиснення і розширення в компресорах і детандерах. Дійсна робота реальних компресорів і детандерів.

- Під час самостійної роботи здобувач опрацьовує матеріали лекції, вирішує практичні задачі з визначення зміни параметрів потоку з використанням першого закону термодинаміки, повних параметрів, аналіз процесів в компресорах та детандерах.

Тема 7. Дифузори та сопла. Адіабатне дроселювання. Змішання та розділення потоків газу.

- Процеси в дифузорах та соплах. Термодинамічний розрахунок витікання газу через звужуючий насадок. Швидкість звуку. Криза течії. Нерівноважна течія в каналах з раптовою зміною перерізу. Адіабатне дроселювання і його використання для підвищення або зниження температури газу. Диференційний та інтегральний дросель-ефекти. Термодинаміка процесу змішування в ємкості. Змішання і розділення потоків газу.

- Під час самостійної роботи здобувач опрацьовує матеріали лекції, вирішує практичні задачі з визначення зміни параметрів потоку в соплах, дифузорах та дроселях, швидкості звуку, розрахунок зміни термодинамічних параметрів при змішанні та розділенні потоків, готується до модульного контролю.

Модульний контроль 2

Змістовий модуль № 3. Системи з фазовими переходами. Вологе повітря.

Тема 8. Особливості опису системи з фазовими переходами. Вологе повітря.

- Рівняння перерозподілу фаз. Правило фаз Гіббса. Фазові діаграми. Межові криві, параметри фаз на межовій кривій, критична точка. Ступінь сухості. Тепловий ефект фазового переходу. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Термодинамічні властивості недогрітої рідини. Термодинамічні властивості перегрітої пари. Таблиці та діаграми термодинамічних властивостей фаз. Вологе повітря. Калоричні властивості вологого повітря. I-d діаграма вологого повітря. Термодинамічні процеси у вологому повітрі.

- Лабораторні заняття: «Енергобаланс вихрової труби», «Процеси в резервуарі, звідки витікає газ», «Стиснення повітря в циліндрі поршневого двигуна».

- Практичні заняття: розв'язання задач з визначення зміни термодинамічних параметрів в процесах з фазовими переходами, вологому повітрі.

- Під час самостійної роботи здобувач опрацьовує матеріали лекції, готується до захисту лабораторних робіт, вирішує практичні задачі, готується до модульного контролю.

Модульний контроль 3

Змістовний модуль №4. Цикли теплосилових установках

Тема 9. Теплова машина.

- Теплова машина; визначення її структури з використанням першого і другого законів термодинаміки. Цикли газотурбінних установок. Цикл Брайтона як основа робочого процесу ГТУ. Регенеративний цикл. ГТУ з проміжним охолодженням і підігрівом робочого тіла. ГТУ замкнутого циклу. Цикли газотурбінних авіаційних двигунів: турбореактивного, турбогвинтового, турбовального, двоконтурного, з форсажною камерою. Індикаторна діаграма теплового двигуна періодичної дії; перехід від неї до термодинамічного аналогу. Цикли двигунів: Отто, Дизеля, Тринклера; їх ККД та співставлення. Цикли паротурбінних установок. Цикл Ренкіна простий і з перегрівом пари. Вплив параметрів циклу та властивостей робочого тіла на ефективність циклу Ренкіна. Когенераційний цикл. Бінарні цикли. Комбіновані газопаротурбінні установки. ГТУ у складі паротурбінної установки. ГТУ з впорскуванням води або пари. Утилізаційний цикл.

- Практичні заняття: розв'язання задач з визначення параметрів та енергетичних характеристик різних циклів теплових машин.

- Під час самостійної роботи здобувач опрацьовує матеріали лекції, вирішує практичні задачі, виконує другу розрахункову роботу.

Тема 10. Холодильні та теплонасосні установки.

- Загальні відомості про холодильні та теплонасосні установки. Цикли повітряної та парокомпресійної холодильних установок. Теплонасосні установки.

- Лабораторне заняття: «Енергобаланс в турбохолодильнику».

- Практичні заняття: розв'язання задач з визначення параметрів та енергетичних характеристик холодильних та теплонасосних установок..

- Під час самостійної роботи здобувач опрацьовує матеріали лекції, готується до здачі лабораторної роботи, вирішує практичні задачі, готується до модульного контролю.

Модульний контроль 4

5. Індивідуальні завдання.

Навчальний план передбачає виконання в якості індивідуального завдання 2 розрахункових робіт. Витрати часу на їх виконання складають 20 та 28 годин відповідно за рахунок обсягу самостійної роботи. Результати виконання робіт студент подає у вигляді пояснювальних записок обсягом біля 5...10 сторінок.

Перша розрахункова робота має на меті закріпити відповідні теоретичні знання і отримати необхідні навички практичних розрахунків термодинамічних параметрів суміші продуктів згоряння ракетного двигуна.

Вхідні дані: тиск, температура, об'ємні долі продуктів згоряння. Треба визначити: газову сталу суміші, масові долі продуктів згоряння, теплоємність продуктів згоряння та суміші, показник ізоентропи, густину та питомий об'єм суміші, молекулярну масу продуктів згоряння та суміші.

Роботу виконують протягом шостого-десятого тижнів третього семестру; на одинадцятий тиждень призначений її прийом. Бали за розрахункову роботу нараховують згідно якості та своєчасності її виконання.

Друга розрахункова робота має на меті закріпити відповідні теоретичні знання і отримати необхідні навички практичних розрахунків термодинамічних процесів. З огляду на майбутній фах темою розрахункових робіт є термодинамічний аналіз циклу турбореактивного двигуна.

Оскільки дисципліна «Технічна термодинаміка» розглядає ідеалізовані робочі процеси теплових машин та їх вузлів, в згаданій роботі усі розрахунки виконують відповідно до оборотних (рівноважних) процесів і станів.

Вхідні дані: параметри оточуючого середовища, швидкість потоку повітря, повна температура на вході в турбіну, масова витрата повітря.

Розглядаються повні параметри. Треба визначити оптимальну ступінь стиснення в компресорі, що забезпечує максимальну роботу двигуна; для визначеної оптимальної ступені стиснення в компресорі обчислити термічні та калоричні параметри в характерних розтинах двигуна та побудувати цикли в $p-v$, $T-s$, $i-s$ координатах для повністю зворотних процесів та процесів з урахуванням втрат (незворотних). Також розраховуються інтегральні параметри двигуна з зворотними та незворотними процесами.

Роботу виконують протягом десятого-чотирнадцятого тижнів четвертого семестру; на п'ятнадцятий тиждень призначений її прийом. Бали за розрахункову роботу нараховують згідно якості та своєчасності її виконання.

6. Методи навчання

Словесні, наочні, практичні.

7. Методи контролю

Поточний контроль (теоретичне опитування, виконання лабораторних робіт й розв'язання практичних завдань), модульний контроль (тестування за розділами курсу) та/або підсумковий (семестровий) контроль (залік/іспит).

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

Таблиця 8.1 – Розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Активність під час аудиторної роботи	0...0.5	8	0...4
Виконання і захист лабораторних робіт	0...2	4	0...8
Модульний контроль	0...30	1	0...30
Змістовний модуль 2			

Активність під час аудиторної роботи	0...0.5	4	0...2
Виконання і захист лабораторних робіт	0...2	4	0...8
Модульний контроль	0...30	1	0...30
Виконання і захист РР	0...18	1	0...18
Усього за семестр			0...100

Семестр №4

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 3			
Активність під час аудиторної роботи	0...0.5	12	0...6
Виконання і захист лабораторних робіт	0...2	4	0...8
Модульний контроль	0...25	1	0...25
Змістовний модуль 4			
Активність під час аудиторної роботи	0...0.5	12	0...6
Модульний контроль	0...29	1	0...29
Виконання і захист лабораторних робіт	0...2	4	0...8
Виконання і захист РР	0...18	1	0...18
Усього за семестр			0...100

Семестровий контроль (*іспит/залік*) проводиться у разі відмови здобувача освіти від балів підсумкового контролю й за наявності допуску до *іспиту/заліку*. Під час складання семестрового *іспиту/заліку* здобувач освіти має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту/заліку складається з 8 запитань. З них 4 запитання – теоретичних та 4 питань – практичних. За теоретичне питання максимальна кількість балів – 5, за практичне – 20.

Таблиця 8.2 – Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка для екзамену, курсового проекту (роботи), практики
90-100	Відмінно
75-89	Добре
60-74	Задовільно
01-59	незадовільно з можливістю повторного складання

Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Семестр №3

Задовільно (60-74) – мати знання і уміння для забезпечення програмних результатів навчання. Здати лабораторні роботи, захистити розрахункову роботу та модульне тестування. Знати термічні параметри стану, основні термодинамічні процеси, рівняння стану для ідеального газу, суміші ідеальних газів, калоричні параметри стану, параметри процесу (робота і теплота, теплоємності), перший закон термодинаміки для закритої системи, рівняння

Майера, цикл Карно, алгоритм аналізу термодинамічного процесу, рівняння першого закону термодинаміки для потоку, повні параметри, термодинамічний аналіз компресорів і детандерів, дійсну роботу компресорів і детандерів, термодинамічний розрахунок витікання газу, швидкість звуку, диференційний та інтегральний дросель-ефекти. Уміти: визначати термічні та калоричні параметри стану, розраховувати основні термодинамічні характеристики процесу, графічно зображувати процеси в термодинамічних координатах, розраховувати параметри процесу витікання, стиснення та розширення газів в компресорах та детандерах, визначати відносні ККД обладнання з урахуванням незворотності процесів.

Добре (75-89) – мати знання і уміння для забезпечення програмних результатів навчання. Здати лабораторні роботи, захистити розрахункову роботу та модульне тестування. Додатково до вимог, які визначено для отримання задовільної оцінки уміти: визначати місцеположення, величини і джерела термодинамічної неефективності, використовувати таблиці, діаграми теплофізичних властивостей для розрахунку термодинамічних процесів, розраховувати параметри суміші реальних газів.

Відмінно (90-100) – мати знання і уміння для забезпечення програмних результатів навчання. Здати лабораторні роботи, захистити розрахункову роботу та модульне тестування. Самостійно, вільно та обґрунтовано відповідати на будь яке запитання щодо процесів в термодинамічних системах. Додатково до вимог, які визначено для отримання задовільної та доброї оцінки уміти: проводити термодинамічний аналіз в типових системах авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Семестр №4

Задовільно (60-74) – мати знання і уміння для забезпечення програмних результатів навчання. Здати лабораторні роботи, захистити розрахункову роботу та модульне тестування. Знати правило фаз Гіббса, рівняння Клапейрона-Клаузіуса, термічні та калоричні параметри двофазової зони. властивості вологого повітря, I-d діаграма вологого повітря, термодинамічні процеси у вологому повітрі, цикл Брайтона, цикли Отто, Дизеля, Тринклера, їх ККД та співставлення, цикли паротурбінних установок, цикли повітряної та пароконпресорної холодильних установок. Уміти: виконувати розрахунки процесів у вологому повітрі, у системах з фазовим перетворенням, розраховувати параметри термодинамічних циклів теплових двигунів, холодильних установок та теплових насосів.

Добре (75-89) – мати знання і уміння для забезпечення програмних результатів навчання. Здати лабораторні роботи, захистити розрахункову роботу та модульне тестування. Додатково до вимог, які визначено для отримання задовільної оцінки уміти: складати матеріальні, енергетичні баланси та розраховувати величини потоків енергії, які входять в рівняння енергетичного балансу, визначати ККД обладнання з урахуванням незворотності процесів.

Відмінно (90-100). – мати знання і уміння для забезпечення програмних результатів навчання. Здати лабораторні роботи, захистити розрахункову роботу та модульне тестування. Самостійно, вільно та обґрунтовано відповідати на будь яке запитання щодо циклів теплових машин. Додатково до вимог, які визначено для отримання задовільної та доброї оцінки уміти аналізувати енергетичну ефективність довільного циклу теплової машини.

9. Політика навчального курсу

Відвідування занять. Регуляція пропусків. Інтерактивний характер курсу передбачає обов'язкове відвідування лабораторних занять. Здобувачі освіти, які за певних обставин не можуть відвідувати лабораторні заняття регулярно, повинні протягом тижня узгодити із

викладачем графік індивідуального відпрацювання пропущених занять. Окремі пропущені заняття мають бути відпрацьовані на найближчій консультації протягом тижня після їх пропуску. Відпрацювання занять шляхом підготовки звіту з лабораторної роботи.

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/polozhennya-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf>).

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.

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/normativna-baza/ustanovchi-dokumenti/kodeks-etichnoi-povedinki/>).

10. Методичне забезпечення та інформаційні ресурси

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=KNMZ&lang=ukr&caller_mode=SearchDocForm&ext=no&theme_path=0&themes_basket=&ttp_themes_basket=&disciplinereasearch=no&top_list=1&fullsearch fld=&author fld=%D0%A0%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2&docname fld=&docname cond=beginwith&theme context=%D0%A0%D1%96%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F+%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B2&theme cond=all theme&theme id=0&is ttp=0&combiningAND=0&step=20&tpage=1
- Або на сайті кафедри <https://khaikaf205.wixsite.com/main>
- Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням: <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1232>

11. Рекомендована література

Базова

1. Буляндра, О. Ф. Технічна термодинаміка: Підруч. для студентів енерг. спец. вищ. навч. закладів. — К.: Техніка, 2001. — 320 с.: іл. — Бібліогр.: с. 315. ISBN 966-575-103-4.

2. FUNDAMENTALS OF THERMODYNAMICS / C. BORGNACKE, R. E. SONNTAG. - University of Michigan (Seventh edition), ISBN-13 978-0-470-04192-5
3. Єпіфанов, К. С. Термодинаміка і теплообмін. Ч. 1. Технічна термодинаміка [Текст] : консп. лекцій / К. С. Єпіфанов. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського “Харків. авіац. ін-т”, 2021. – 96 с.
4. Єпіфанов, К. С. Технічна термодинаміка. Навчальний посібник до лабораторних робіт за дисципліною «Технічна термодинаміка» [Текст] : К. С. Єпіфанов. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського “Харків. авіац. ін-т”, 2021. – 85 с.
5. Єпіфанов, К. С. Термодинаміка і теплообмін. Навчальний посібник до виконання розрахункових робіт [Текст] / К. С. Єпіфанов, М. В. Амброжевич. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського “Харків. авіац. ін-т”, 2022. – 129 с.
6. Беляев Н.М. Термодинамика. Киев: Вища школа, 1987 – 344 с.

Допоміжна

1. Приходько М. А., Герасимов Г. Г. Термодинаміка та теплопередача. Навчальний посібник – Рівне: НУВГП, 2008. – 210 с.
2. Конспект лекцій з термодинаміки /Укл.: Тельний А. П., Кавєра О. Л. – Донецьк: ДонНТУ. – 2010. – 58 с.
3. Теплохолодотехніка. Навчальний посіб./ Василенко С. М., Павелко В. І., Форсюк А. В., Масліков М. М., Іващенко Н. В., Барановська С. В. – К.: Видавництво Ліра-К, 2019. – 258 с.
4. Мороз, І. О. Основи термодинаміки: Навч. посіб. для студентів ВНЗ України. – Суми: СумДПУ ім. А. С. Макаренка, 2009. – 180 с.