Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Проректор з науково-педагогічної роботи

Олександр ГОЛОВКО

“_____”_____22__ р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**Термодинаміка нетрадиційних енергетичних систем**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти Перший (бакалаврський) _____
галузь знань 10 Природничі науки_____
спеціальність
(напрям підготовки) 105 Прикладна фізика та наноматеріали_____
освітня програма Прикладна фізика нетрадиційної енергетики
спеціалізація _____

вид дисципліни За вибором _____
факультет Навчально-науковий інститут комп’ютерної фізики та енергетики

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

Протокол від "26" серпня 2022 року № 8/22

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Ігор КУДРЯВЦЕВ, к.ф.-м.н., доцент кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Протокол від "26" серпня 2022 року № 8/22

Завідувач кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

_____ Олександр КУЛИК
(підпис)

Програму погоджено з гарантом освітньої програми «Прикладна фізика нетрадиційної енергетики».
Гарант освітньої програми «Прикладна фізика нетрадиційної енергетики»

_____ Ілля МАРУЩЕНКО
(підпис)

Програму погоджено методичною комісією
Навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

Протокол від "26" серпня 2022 року № 8/22

Голова методичної комісії Навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

_____ Ольга ЛІСІНА
(підпис)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Термодинаміка нетрадиційних енергетичних систем» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів спеціальності 105 — прикладна фізика та наноматеріали

### 1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є засвоєння концептуально-методологічної бази виконання термодинамічного аналізу процесів енергоперетворення в нетрадиційних енергетичних установках та оцінки ефективності трансформації теплоти в ідеальних та реальних термодинамічних циклах.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є практична реалізація можливостей термодинамічних процесів за допомогою розрахунково-теоретичного апарату, який ґрунтується на основних постулатах термодинаміки.

1.3. Кількість кредитів - 10

1.4. Загальна кількість годин - 300

| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни | |
|---|---|
| Нормативна / за вибором | |
| Денна форма навчання | |
| Рік підготовки | |
| 4-й | 4-й |
| Семестр | |
| 7-й | 8-й |
| Лекції | |
| 32 год. | 28 год. |
| Практичні, семінарські заняття | |
| 32 год. | 28 год. |
| Лабораторні заняття | |
| год. | год. |
| Самостійна робота | |
| 86 год. | 94 год. |
| Індивідуальні завдання | |
| год. | |

1.6. Заплановані результати навчання - згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми, студенти мають досягти таких результатів навчання:

знати основні поняття і закони технічної термодинаміки, шляхи перетворення енергії в термодинамічних циклах двигунів внутрішнього згоряння, газотурбінних та паросилових установок, а також нетрадиційних енергетичних установок;

вміти застосувати отримані знання на практиці при вивченні теплотехнічних технологій на об`єктах енергетики; застосовувати знання для вирішення нагальних проблем енергозбереження та підвищення енергоефективності; давати оцінку ефективності процесів з перетворення енергії на об`єктах енергетики; застосувати отримані знання для сталого розвитку екосистем та систем альтернативної енергетики.

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### Сьомий семестр

*Розділ 1. Основні поняття термодинаміки енергетичних систем.*

*Тема 1. Основні поняття та визначення*

Термодинамічна система. Термодинамічний процес. Робоче тіло. Гази ідеальні та реальні. Параметри стану. Закони ідеальних газів. Рівняння стану ідеального газу.

*Тема 2. Суміші ідеальних газів*

Парціальний тиск, об'єм компонентів та уявна молекулярна маса суміші газів. Теплоємність газів.

*Розділ 2. Перший закон термодинаміки.*

*Тема 1. Рівняння першого закону термодинаміки.*

Перший закон термодинаміки. Калоричні параметри. Енергетичні характеристики процесу.

*Тема 2. Термодинамічні процеси ідеального газу*

Ізобарний, ізохорний, ізотермічний, адіабатний та політропний процеси ідеальних газів. Визначення показника політропи.

*Тема 3. Перший закон термодинаміки для потоку газу*

Рівняння першого закону термодинаміки для потоку газу. Стиснення газів. Робота стиску у компресорі. Потужність компресора. Багатоступеневе стиснення.

*Розділ 3. Другий закон термодинаміки.*

*Тема 1. Термодинамічні цикли та їх характеристики.*

Термодинамічний ККД і холодильний коефіцієнт. Цикл Карно. Теплові характеристики термодинамічних процесів.

*Тема 2. Ентропія та ексергія*

Математичне формулювання другого закону термодинаміки. Ентропія та термодинамічна вірогідність. Максимальна робота. Ексергія.

*Розділ 4. Термодинаміка нетрадиційних енергосистем*

*Тема 1. Термодинамічні основи роботи напівпровідникових термогенераторів*

Термоелектричні явища в напівпровідниках. Ефекти Зеєбека, Пельтьє та Томсона. Принцип роботи та конструкція термоелектричних перетворювачів енергії.

*Тема 2. Кріогенні силові установки (КСУ)*

Термодинамічні характеристики кріогенних рідин та газів. Принцип роботи КСУ на рідкому азоті. Максимальна питома робота КСУ.

*Тема 3. Термодинамічні аспекти роботи фотоелектричних систем*

Принцип роботи і конструкція сонячного фотоелементу. Особливості функціонування напівпровідникового p-n переходу. Температурні залежності основних електричних характеристик сонячних модулів.

**Восьмий семестр**

*Розділ 5. Термодинамічні цикли енергетичних установок*

*Тема 1.* Термодинамічні цикли двигунів внутрішнього згоряння

Цикли двигунів внутрішнього згоряння з підведенням теплоти при постійному об'ємі, тиску та зі змішаним циклом.

*Тема 2. Термодинамічні цикли газотурбінних установок*

Цикли газотурбінних установок з підведенням теплоти при постійному тиску. Цикли газотурбінних установок з підведенням теплоти при постійному об'єму.

*Тема 3. Реальні гази та водяна пара*

Реальні гази. Водяна пара. Цикли паросилових установок. Паросиловий цикл з регенеративними нагрівачами.

*Розділ 6. Цикли холодильних установок*

*Тема 1. Цикли холодильних машин*

Повітряні та парокомпресорні холодильні установки. Абсорбційні холодильні установки. Термомагнітні явища.

*Тема 2. Засоби одержання та контролю вакууму*

Дифузія та течія газів. В'язкий і молекулярний режими течії газу. Схема вакуумної системи, основне рівняння вакуумної техніки. Вакуумні насоси, класифікація.

## 3. Структура навчальної дисципліни

| Назви розділів і тем | Кількість годин | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | денна форма | | | | | | заочна форма | | | | | |
| | усього | у тому числі | | | | | усього | у тому числі | | | | |
| | | л | п | лаб. | інд. | с.р. | | л | п | лаб. | інд. | с.р. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| **Сьомий семестр:** | | | | | | | | | | | | |
| *Розділ 1. Основні поняття термодинаміки енергетичних систем* | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Основні поняття та визначення | 14 | 3 | 3 | | | 8 | | | | | | |
| Тема 2. Суміші ідеальних газів | 14 | 3 | 3 | | | 8 | | | | | | |
| Разом за розділом 1 | 28 | 6 | 6 | | | 16 | | | | | | |
| *Розділ 2. Перший закон термодинаміки* | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Рівняння першого закону термодинаміки | 14 | 3 | 3 | | | 8 | | | | | | |
| Тема 2. Термодинамічні процеси ідеального газу | 14 | 3 | 3 | | | 8 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Тема 3. Перший закон термодинаміки для потоку газу | 14 | 3 | 3 | | | 8 | | | | | | |
| Разом за розділом 2 | 42 | 9 | 9 | | | 24 | | | | | | |
| *Розділ 3. Другий закон термодинаміки* | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Термодинамічні цикли та їх характеристики | 14 | 3 | 3 | | | 8 | | | | | | |
| Тема 2. Ентропія та ексергія | 14 | 3 | 3 | | | 8 | | | | | | |
| Разом за розділом 3 | 28 | 6 | 6 | | | 16 | | | | | | |
| *Розділ 4. Термодинаміка нетрадиційних енергосистем.* | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Термодинамічні основи роботи напівпровідникових термогенераторів | 16 | 3 | 3 | | | 10 | | | | | | |
| Тема 2. Кріогенні силові установки (КСУ) | 18 | 4 | 4 | | | 10 | | | | | | |
| Тема 3. Термодинамічні аспекти роботи фотоелектричних систем | 18 | 4 | 4 | | | 10 | | | | | | |
| Разом за розділом 4 | 52 | 11 | 11 | | | 30 | | | | | | |
| ***Усього годин*** | 150 | 32 | 32 | | | 86 | | | | | | |
| **Восьмий семестр:** | | | | | | | | | | | | |
| *Розділ 5. Термодинамічні цикли енергетичних установок* | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Термодинамічні цикли двигунів внутрішнього згоряння | 28 | 5 | 5 | | | 18 | | | | | | |
| Тема 2. Термодинамічні цикли газотурбінних установок | 29 | 5 | 5 | | | 19 | | | | | | |
| Тема 3. Реальні гази та водяна пара. Цикли паросилових установок. | 31 | 6 | 6 | | | 19 | | | | | | |
| Разом за розділом 5 | 88 | 16 | 16 | | | 56 | | | | | | |
| *Розділ 6. Цикли холодильних установок* | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1 Цикли холодильних машин | 31 | 6 | 6 | | | 19 | | | | | | |
| Тема 2. Засоби одержання та | 31 | 6 | 6 | | | 19 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| контролю вакууму | | | | | | | | | | | | |
| Разом за розділом 6 | 62 | 12 | 12 | | | 38 | | | | | | |
| ***Усього годин*** | 150 | 28 | 28 | | | 94 | | | | | | |

## 4. Теми практичних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|---|---|---|
| 1 | Основні поняття і визначення технічної термодинаміки | 3 |
| 2 | Суміші ідеальних газів | 3 |
| 3 | Рівняння першого закону термодинаміки | 3 |
| 4 | Термодинамічні процеси ідеального газу | 3 |
| 5 | Перший закон термодинаміки для потоку газу | 3 |
| 6 | Термодинамічні цикли та їх характеристики | 3 |
| 7 | Ентропія та ексергія | 3 |
| 8 | Термодинамічні основи роботи напівпровідникових термогенераторів | 3 |
| 9 | Кріогенні силові установки (КСУ) | 4 |
| 10 | Термодинамічні аспекти роботи фотоелектричних систем | 4 |
| 11 | Термодинамічний цикл двигунів внутрішнього згоряння підводом теплоти при постійному об’ємі | 2 |
| 12 | Цикли газових турбін зі згорянням палива при постійному тиску | 2 |
| 13 | Цикли газових турбін зі згорянням палива при постійному об’ємі | 2 |
| 14 | Цикли газових турбін з регенерацією | 2 |
| 15 | Характерні стани рідини і пари води на v-p та s-T діаграмах | 2 |
| 16 | *s-i* – діаграма водяної пари | 2 |
| 17 | Цикл Ренкіна | 2 |
| 18 | Паротурбінна установка з проміжним перегрівом пари | 2 |
| 19 | Паросилові установки з бінарними циклами | 2 |
| 20 | Цикли холодильних машин | 2 |
| 21 | Термомагнітні явища | 2 |
| 22 | Дифузія та течія газів. В’язкий і молекулярний режими течії газу | 3 |
| 23 | Схема вакуумної системи, основне рівняння вакуумної техніки | 3 |
| | Разом | 60 |

## 5. Завдання для самостійної роботи

| № з/п | Види, зміст самостійної роботи | Кількість годин |
|---|---|---|
| 1 | Основні поняття та визначення. (*Охарактеризувати:* Предмет і метод термодинаміки енергетичних систем. Термодинамічна система і навколишнє середовище, ізольовані, закриті та відкриті системи, поняття робочого тіла в технічній термодинаміці. Термодинамічні параметри стану, стан системи. Термічні рівняння стану. Поняття функції стану. Поняття термодинамічної поверхні. Термодинамічний процес. Рівноважні та нерівноважні процеси. Графічне зображення рівноважних процесів на | 8 |

| | | |
|---|---|---|
| | термодинамічній поверхні. Ізопроцеси.) | |
| 2 | Суміші ідеальних газів (*З'ясувати:* Суміші ідеальних газів, що використовуються в енергетичних системах. Закон Дальтона. Склад газової суміші: масова, мольна і об'ємна долі. Термічне рівняння стану суміші ідеальних газів, що використовуються в енергетичних системах. Середня (уявна) молекулярна маса газової суміші. Співвідношення між масовими і об'ємними долями газів у сумішах, що використовуються в енергетичних системах. Густина газової суміші і парціальні густини компонентів суміші. Теплоємності газових сумішей, що використовуються в енергетичних системах.) | 8 |
| 3 | Перший закон термодинаміки для потоку газу (*Розібрати*: Внутрішня енергія термодинамічної системи. Калоричні рівняння стану. Перший вид першого закону термодинаміки для скінченого та елементарного процесів. Зображення термодинамічного процесу в координатах *v-p* і визначення роботи *l*. Ентальпія. Другий вид рівняння першого закону термодинаміки. Наявна робота $l_0$, графічне визначення наявної роботи на діаграмі *v-p*. Фізичний зміст ентальпії. Найбільш поширені формулювання першого закону термодинаміки. Рівняння першого закону термодинаміки для потоку газу в енергетичних системах. Ізоентропійний рух газу по каналам змінного перерізу. Конфузор, сопло Лаваля, надзвуковий дифузор. Витікання газу із посудини необмеженої місткості. Приклади газових турбін, реактивних двигунів. Швидкість витікання газу, масові щосекундні витрати.) | 8 |
| 4 | Термодинамічні цикли та їх характеристики (*Визначити:* Зворотні і незворотні процеси, їх протікання на *v-p* діаграмах при розширенні і стисненні. Принцип максимальної роботи. Силові установки. Коефіцієнт корисної дії силової установки. Умови роботи теплових машин і другий закон термодинаміки. Цикл Карно. Термодинамічний ККД циклу Карно. Поняття про абсолютну термодинамічну шкалу температур. Теплова характеристика оборотних циклів. Рівняння Клаузіуса. Ентропія. Теплова характеристика довільного необоротного циклу. Теплова характеристика довільного термодинамічного процесу.) | 8 |
| 5 | Ентропія та ексергія (*Дослідити:* Найбільш загальний аналітичний вираз другого закону термодинаміки. Фізичний зміст ентропії. Ентропійна *s-T* (*теплова*) діаграма. Ексергія (*технічна роботоздатність*). Графічне зображення ексергії на *v-p*, *s-T*, *s-i* діаграмах. Ексергетичний метод дослідження енергетичних систем. Ексергетичний баланс, ексергетичний ККД, його відмінності від термодинамічного ККД енергетичних систем.) | 8 |
| 6 | Диференційні рівняння термодинаміки (*Охарактеризувати:* Термічні і калоричні величини. Значення диференційних рівнянь термодинаміки. Диференційне рівняння стану. Коефіцієнти ізобарного розширення, ізохорної пружності, ізотермічної стисливості. Диференційні вирази для теплоти, внутрішньої енергії, ентальпії і ентропії Диференційні співвідношення для | 8 |

| | | |
|---|---|---|
| | теплоємностей $c_v$ *і* $c_p$ Застосування диференційних рівнянь до ідеальних газів. Метод характеристичних функцій. Рівняння Максвела, їх роль в термодинаміці. Рівновага термодинамічних систем. Правило фаз Гіббса.) | |
| 7 | Термодинамічні цикли двигунів внутрішнього згоряння (*Визначити:* Узагальнений термодинамічний цикл теплових двигунів. Цикли поршневих двигунів внутрішнього згоряння: цикл з підводом теплоти при постійному об'ємі. Цикли поршневих двигунів внутрішнього згоряння: цикл з підводом теплоти при постійному тиску. | 8 |
| 8 | Термодинамічні основи роботи напівпровідникових термогенераторів *(Охарактеризувати:* Термоелектричні явища в напівпровідниках. Ефекти Зеєбека, Пельтьє та Томсона. Принцип роботи та конструкція термоелектричних перетворювачів енергії.) | 10 |
| 9 | Кріогенні силові установки (КСУ) (*Проаналізувати:* Термодинамічні характеристики кріогенних рідин та газів. Принцип роботи КСУ на рідкому азоті. *Визначити:* Максимальну питому робота КСУ) | 10 |
| 10 | Термодинамічні аспекти роботи фотоелектричних систем (*Охарактеризувати:* Принцип роботи і конструкція сонячного фотоелементу. Особливості функціонування напівпровідникового p-n переходу. Температурні залежності основних електричних характеристик сонячних модулів) | 10 |
| 11 | Термодинамічні цикли двигунів внутрішнього згоряння (*Визначити:* Узагальнений термодинамічний цикл теплових двигунів. Цикли поршневих двигунів внутрішнього згоряння: цикл з підводом теплоти при постійному об'ємі. Цикли поршневих двигунів внутрішнього згоряння: цикл з підводом теплоти при постійному тиску. | 18 |
| 12 | Термодинамічні цикли газотурбінних установок (Охарактеризувати: Цикли газових турбін: процес регенерації, схема ГТУ з регенерацією, яка має цикл з підводом теплоти при постійному тиску. Цикли газових турбін: принцип дії і схема газотурбінної установки зі згорянням палива при постійному об'ємі. ГТУ з регенерацією. Порівняльний аналіз циклів теплових машин | 19 |
| 13 | Реальні гази та водяна пара (*Проаналізувати:* Реальні гази, їх якісні особливості. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Дроселювання газу (пару) при течії в каналі з діафрагмою. Ефект Джоуля-Томсона, характерні стани рідини і пари води на v-p – діаграмі, s-T – діаграмі. s-i – діаграма водяної пари. Характерні процеси зміни стану водяної пари в ПСУ. Цикли паросилових установок (ПСУ): цикл Ренкіна. Паротурбінна установка з проміжним перегрівом | 19 |

| | | |
|---|---|---|
| | пари. Регенеративний цикл. Бінарні цикли.) | |
| 14 | Цикли холодильних машин (*Охарактеризувати:* ідеальна холодильна установка, що використовує обернений цикл Карно, параметри ефективності її роботи. Цикли холодильних установок: повітряна холодильна установка: схема, цикл на *v-p* – і *s-T* – діаграмах, аналіз економічності циклу. Цикли холодильних установок: компресійні парові холодильні установки, параметри основних холодильних агентів у порівнянні з водяною парою, їх основні термодинамічні властивості. Цикли холодильних установок: схема компресійної установки, паровий компресійний цикл на *s-T* – діаграмі, аналіз процесів парового компресійного циклу на *s-T* – діаграмі, робота адіабатного стиснення холодильного агента в компресорі, холодильний коефіцієнт установки, шляхи збільшення економічності компресійних парових холодильних установок.) | 19 |
| 15 | *Ознайомитися:* Дифузія та течія газів. В'язкий і молекулярний режими течії газу. Схема вакуумної системи, основне рівняння вакуумної техніки. *Розібрати:* Вакуумні насоси, класифікація. Основні параметри вакуумних насосів. Форвакуумні насоси, молекулярні насоси, пароструминні насоси. Вакуумні масла. Високо вакуумні насоси. Конструкції кріогенних насосів. | 19 |
| | Разом | 180 |

## 6. Індивідуальні завдання

Не передбачені

## 7. Методи навчання

Лекційні заняття проводяться методом лекції та розповіді-дискусії і передбачають можливість використання електронних засобів навчання. Практичні заняття проводяться шляхом обговорення теоретичних положень дисципліни, розв'язання завдань та виконання лабораторних робіт. Основною метою практичних занять є розвиток навичок практичного застосування і закріплення теоретичного матеріалу.

## 8. Методи контролю

Система рейтингових балів та критерії оцінювання:

1. Експрес-контроль (загальний ваговий бал - 80) проводиться з метою перевірки якості роботи студента на практичних заняттях в аудиторії. Тривалість експрес-контролю 5-10 хвилин. Кожен експрес-контроль включає 2 простих завдання, за кожну правильну відповідь студент

отримує 1 бал. Відсутність студента на занятті або невиконання експрес-контролю приносить студенту 0 балів.

2. Підсумковий контроль (загальний ваговий бал - 20) проводиться у вигляді контрольній роботи тривалістю 2 академічні години. МКР складається з 4 задач, які оцінюються по 5 балів. Максимальна кількість балів - 20.

Критерії оцінювання:

a) Повністю правильно виконане завдання оцінюється в 5 балів;

b) Завдання виконане з несуттєвими помилками оцінюється в 4 бали (незначні помилки в арифметичних розрахунках);

c) Часткове виконане завдання оцінюється в 3 бали (правильно обрана логіка рішення але грубі помилки в розрахунках);

d) Часткове виконане завдання оцінюється в 2 бали (правильно обрана логіка рішення, зовсім відсутні розрахунки);

e) Неправильно виконане завдання оцінюється в 0 балів.

Якщо студент отримав оцінку менше 5 балів за МКР, то він зобов'язаний переписати цю роботу, але не більше двох разів.

## 9. Схема нарахування балів

Сьомий семестр – залік

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання | | | | | | | | Сума |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Розділи 1-3 | | | Розділ 4 | | | Контрольна робота | Разом | |
| Т1-Т2 | Т3-Т5 | Т6-Т7 | Т8 | Т9 | Т10 | | | |
| 16 | 24 | 16 | 8 | 8 | 8 | 20 | 100 | 100 |

Восьмий семестр – залік

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання | | | | | | | Сума |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Розділ 5 | | | Розділ 6 | | Контрольна робота | Разом | |
| Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | Т5 | | | |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 20 | 100 | 100 |

## Критерії оцінювання навчальних досягнень

Знання студентів як з теоретичної, так і з практичної підготовки оцінюються за такими критеріями:

90-100 балів – студент міцно засвоїв теоретичний матеріал, глибоко і всебічно знає зміст навчальної дисципліни, вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичного

матеріалу, висловлює своє ставлення до тих чи інших проблем, демонструє високий рівень засвоєння практичних навичок;

70-89 балів – студент добре засвоїв теоретичний матеріал, аргументовано викладає його; має практичні навички, висловлює свої міркування з приводу тих чи інших проблем, але припускається певних неточностей і похибок у логіці викладу теоретичного змісту або при аналізі практичного;

50-69 балів – студент в основному опанував теоретичними знаннями навчальної дисципліни, орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, але непереконливо відповідає, додаткові питання викликають невпевненість або відсутність стабільних знань; відповідаючи на запитання практичного характеру, виявляє неточності у знаннях;

1-49 балів – студент майже не опанував навчальний матеріал дисципліни, не знає наукових фактів, визначень, майже не орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, практичні навички майже не сформовані.

**Шкала оцінювання**

| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка | |
|---|---|---|
| | для екзамену | для заліку |
| 90 – 100 | відмінно | зараховано |
| 70-89 | добре | |
| 50-69 | задовільно | |
| 1-49 | незадовільно | не зараховано |

## 10. Рекомендована література

### Основна література

1. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: Підручн. для студентів енерг. спец. вищ. навч. закладів – К.Техніка. – 2001. – 320 с.
2. Соловей В.В., Шмалько Ю.Ф. Термодинаміка енергетичних систем. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2008. – 40 с.
3. Дубровська В.В. Термодинаміка та теплообмін: навч. посіб. / Автори: В.В. Дубровська, В.І. Шкляр – К.: НТУУ«КПІ», 2016. – 150 с.
4. Константінов С.М., Панов Є.М. Теоретичні основи теплотехніки: Підручник. – К.: «Золоті ворота», 2012. – 592 с.
5. Б.Х.Драганов, А.А.Долінський, А.В.Міщенко, Є.М. Письменний. Теплотехніка: Підручник – Київ: «ІНКОС»., 2005. –504 с.

### Допоміжна література

1. Криловський В.С. Техніка низьких температур. Х.: Вид-во ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010. –98 с.
2. Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar. Thermodynamics: an engineering approach, eighth edition, eight edition, 2015.
3. Michael J. Moran, howard n. Shapiro, daisie d. Boettner, margaret b. Bailey. Fundamentals of engineering thermodynamics, 8 edition, 2014
4. Козак Л. Ю., Дем'янчук Я. М., Войцехівська Т. Й. Курсова робота: Методичні вказівки. – Івано-Франківськ: Факел, 2002. – 34 с.
5. Визначення теплопровідності твердих тіл: Метод. вказівки до виконання лабораторної роботи для студентів інженерно-технічних спеціальностей / Укл. О.І. Єщенко, В.В. Задвернюк. – К.: НТУУ «КПІ ім.. Ігоря Сікорського», 2017. – 19 с.

## 11. Посиланная на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Веб-ресурси кафедри, мережа інтернет.
2. Бібліотека ХНУ імені В.Н.Каразіна.
3. http:www.twirpx.com