

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

Кафедра _____ аерокосмічної теплотехніки _____ (№ 205)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



Г. О. Горбенко

(підпис)

(ініціали та прізвище)

« 31 » 08 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Теплофізичні властивості речовин

(назва навчальної дисципліни)

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

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

Освітня програма: «Енергетичний менеджмент»
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти:
перший (бакалаврський)

Харків 2021 рік

Розробник: Петухов І. І., доцент, к.т.н., доцент
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)



(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри
аерокосмічної теплотехніки (№ 205)

Протокол № 1 від «30» серпня 2021 р.

Завідувач кафедри д.т.н., доцент П.Г. Гакал
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки (спеціальність, спеціалізація), рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Денна форма навчання
Кількість кредитів – 5	Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> (шифр та найменування)	Цикл професійної підготовки
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Змістових модулів – 3		2021/2022
Індивідуальне завдання - розрахункова робота: «Термодинамічні властивості речовини в області фазової рівноваги»		Семестр
Загальна кількість годин – 64/150		6-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 5,4	Освітня програма: <u>«Енергетичний менеджмент»</u> (найменування)	Лекції *
		32 годин
		Практичні, семінарські
		32 години
		Лабораторні
		Не передбачено
		Самостійна робота
	Рівень вищої освіти: <u>перший (бакалаврський)</u>	86 годин
		Вид контролю модульний контроль, іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить 64/86.

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

2. Мета та завдання навчальної дисципліни.

Мета вивчення: придбання знань, вмінь і навичок, що дозволять розробляти та раціонально використовувати науково обґрунтовані методи визначення, розрахунку і представлення теплофізичних властивостей як чистої однофазної речовини, так і багатокомпонентних багатофазних систем.

Завдання: практична реалізація можливостей дослідження і розрахунку теплофізичних властивостей речовин за допомогою методів і моделей, які ґрунтуються на фундаментальних положеннях термодинаміки і використовують відповідний математичний апарат, довідкові данні та комп'ютерні програми.

Компетентності, які набуваються:

серед загальних компетентностей це здатність:

розв'язувати складні загальні, спеціалізовані задачі та практичні проблеми теплоенергетичної галузі, що передбачає застосування певних теорій та методів електричної інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов; оволодівати сучасними знаннями та застосовувати їх у практичних ситуаціях; використання інформаційних і комунікаційних технологій, у тому числі для пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; приймати обґрунтовані рішення.

Серед фахових компетентностей це здатність:

застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань в теплоенергетичній галузі;

продемонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, практичні інженерні навички при проектуванні та експлуатації теплоенергетичного обладнання;

продемонструвати розуміння ширшого міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів;

демонструвати розуміння питань використання технічної літератури та інших джерел інформації в теплоенергетичній галузі;

продемонструвати розуміння необхідності дотримання професійних і етичних стандартів високого рівня у діяльності в теплоенергетичній галузі;

продемонструвати знання характеристик і властивостей матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетичній галузі.

Очікувані результати навчання:

знання і розуміння математики, фізики, хімії, газодинаміки, тепло - та масообміну, технічної термодинаміки, міцності, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, що лежать в основі спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми;

розуміння міждисциплінарного контексту спеціальності «Теплоенергетика»;

здатність здійснювати пошук необхідної інформації в технічній літературі, використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації, здійснювати моделювання з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації;

розуміння обмежень застосовуваних матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів.

Необхідні попередні дисципліни (пререквізити) – фізика, вища математика, термодинаміка, гідрогазодинаміка.

Необхідні супутні дисципліни (кореквізити) – фізико-технічні основи теплових процесів, теплотехнічні процеси і установки

3. Зміст навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Змістовий модуль 1. Основні співвідношення. Термодинамічні властивості чистих речовин.

Тема 1. Вступ. Загальні поняття, визначення та співвідношення.

Мета і задачі дисципліни, структура курсу. Література. Теплофізичні та термодинамічні властивості. Методи дослідження теплофізичних властивостей. Параметри стану і їхній взаємозв'язок. Диференціальні співвідношення термодинаміки і методи їхнього одержання. Зв'язок термічних і калоричних параметрів стану. Методи розрахунку термодинамічних властивостей. Основні співвідношення для калоричних властивостей.

Тема 2. Рівновага термодинамічної системи.

Загальні умови рівноваги термодинамічної системи. Умови рівноваги для неізольованих систем. Критерії сталості рівноваги однорідної системи.

Тема 3. Умови рівноваги фаз чистої речовини.

Хімічний потенціал. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Фазові діаграми. Фізичні причини й область існування метастабільного стану чистої речовини. Число Гіббса. Бінодаль та спінодаль. Рівновага при різному тиску фаз. Рівняння Пойнтинга. Рівновага диспергованої фази. Досяжні перегрів і переохолодження рідини.

Тема 4. Рівняння кривих фазової рівноваги та стану фаз.

Рівновага рідина - пар чистої речовини. Співвідношення для розрахунку теплоти пароутворення і параметрів стану рівноважних фаз. Рівновага кристал-пар. Рівновага кристал-рідина. Властивості чистої речовини в трифазній області. Фундаментальний трикутник. Властивості речовини в біякритичній області, співвідношення для критичних параметрів.

Тема 5. Методи опису термодинамічних властивостей чистої речовини.

Основні вимоги до термічного рівняння стану. Калоричні рівняння стану. Модель ідеального газу. Основні рівняння стану реальних газів. Рівняння стану рідин і твердих тел. Термічне рівняння стану рідини в метастабільній області. Метод термодинамічної подібності при розрахунку параметрів стану чистої речовини.

Модульний контроль.

Змістовий модуль 2. Термодинамічні властивості та загальні умови фазової рівноваги багатокомпонентних систем.

Тема 6. Газові суміші.

Багатокомпонентні системи. Модель суміші ідеальних газів. Калоричні властивості суміші ідеальних газів. Суміш реальних газів. Надлишкові функції і їхній взаємозв'язок. Термічне рівняння стану сумішей реальних газів.

Тема 7. Властивості розчинів.

Рідкі і тверді суміші (розчини). Розчинність. Ідеальний розчин. Парціальні величини. Рівняння Гіббса-Дюгема. Теплоти змішання.

Тема 8. Загальні умови фазової рівноваги в багатокомпонентних системах.

Правило фаз Гіббса. Летючість, її фізичний зміст і переваги при використанні. Летючість ідеального газу. Летючість чистої речовини в різних агрегатних станах. Летючість компонента газової суміші. Закон Рауля. Летючість і активність

Тема 9. Розчинність.

Умови розчинності. Розчинність газу в рідині, коефіцієнт Генрі. Приклади розчинності газу в технічних рідинах (вода, паливо, холодоагент, мастило). Розчинність твердого тіла в рідині, рівняння Шредера. Розсоли. Кріоскопічна константа. Явище осмосу. Розчинність рідин і твердих тіл у газах (парах). Взаємна розчинність речовин, що знаходяться в однаковому агрегатному стані. Антифризи.

Модульний контроль.

Змістовий модуль 3. Фазова рівновага у бінарних системах. Переносні і поверхневі властивості.

Тема 10. Фазова рівновага та діаграми стану бінарного розчину.

Загальні умови фазової рівноваги в бінарних розчинах p, N та T, N - діаграми ідеального бінарного розчину при фазовій рівновазі. Рівновага рідина-пар у розчині з нелетючим компонентом. Рівновага рідина - пар у неідеальних розчинах. Розчини з областю незмішування. Розчинена та вільна вода у паливі, вплив стабілізуючих присадок. Багатокомпонентні холодоагенти. Розчини холодоагент-масло. Критична область у розчинах. Рівновага кристал-рідина в бінарних розчинах. Кристалізація розчинів з областю незмішування у твердій фазі. Евтектика. Фазова рівновага в низькотемпературних теплоносіях, рідка крига. Кристалогідрати.

Тема 11. Калоричні параметри бінарного розчину.

Калоричні діаграми ідеального бінарного розчину для області фазових переходів. Теплові ефекти при фазових переходах у розчинах. Інтегральна теплота пароутворення. Диференціальна теплота пароутворення бінарного розчину. Теплоти плавлення розчинів.

Тема 12. Переносні властивості рідин і газів.

В'язкість. Теплопровідність. Коефіцієнти дифузії. Переносні властивості сумішей та гетерогенних систем.

Тема 13. Поверхневі властивості на границі розділу фаз.

Поверхневий натяг чистих рідин і їхніх сумішей. Поверхневий натяг водних розчинів, поверхнево активні домішки.

Модульний контроль.

МОДУЛЬ 2

Розрахункова робота

Модульний контроль.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Модуль 1						
Змістовий модуль 1. Основні співвідношення. Термодинамічні властивості чистих речовин.						
Тема 1. Вступ. Загальні поняття, визначення та співвідношення.	12	2		4		6
Тема 2. Рівновага термодинамічної системи.	6	2				4
Тема 3. Умови рівноваги фаз чистої речовини.	6	2				4
Тема 4. Рівняння кривих фазової рівноваги та стану фаз.	14	4		4		6
Тема 5. Методи опису термодинамічних властивостей чистої речовини.	10	2		2		6
Модульний контроль	2			2		
Разом за змістовим модулем 1	50	12		12		26
Змістовий модуль 2. Термодинамічні властивості та загальні умови фазової рівноваги багатокомпонентних систем.						
Тема 6. Газові суміші.	10	2		2		6
Тема 7. Властивості розчинів.	6	2				4
Тема 8. Загальні умови фазової рівноваги в багатокомпонентних системах.	4	2				2
Тема 9. Розчинність.	14	2		4		8
Модульний контроль	2			2		
Разом за змістовим модулем 2	36	8		8		20
Змістовий модуль 3. Фазова рівновага у бінарних системах. Переносні і поверхневі властивості.						
Тема 10. Фазова рівновага та діаграми стану бінарного розчину.	22	6		4		12
Тема 11. Калоричні параметри бінарного розчину.	16	2		4		10
Тема 12. Переносні властивості рідин і газів.	8	3		1		4
Тема 13. Поверхневі властивості на границі розділу фаз.	6	1		1		4
Модульний контроль	2			2		
Разом за змістовим модулем 3	54	12		12		30

Модуль 2						
Розрахункова робота	10					10
Усього годин	150	32		32		86

5. Теми семінарських занять (навчальним планом не передбачені)

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Використання експериментальних даних та диференціальних співвідношень термодинаміки для побудови рівнянь стану чистої однофазної речовини.	4
2	Фазова рівновага та метастабільний стан чистої речовини.	4
3	Рівняння стану чистої речовини.	2
4	Модульний контроль.	2
5	I,d-діаграма вологого повітря.	3
6	Розчинність солі у воді. Осмотичний тиск	4
7	Модульний контроль.	1
8	Діаграми стану розчину холодоагент-мастило.	4
9	Калорична діаграма розчину етилового спирту у воді.	4
10	Апроксимація температурної залежності в'язкості та поверхневого натягу холодоагентів і мастил.	2
11	Модульний контроль.	2
	Разом	32

7. Теми лабораторних занять (навчальним планом не передбачені)

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Диференціальні співвідношення термодинаміки і методи їхнього одержання. Основні співвідношення для калоричних властивостей.	6
2	Умови рівноваги для неізолюваних систем	4
3	Рівняння Пойнтинга. Рівновага диспергованої фази.	4
4	Співвідношення для розрахунку теплоти пароутворення і параметрів стану рівноважних фаз. Властивості речовини в білякритичній області.	6
5	Основні рівняння стану реальних газів. Термічне рівняння стану рідини в метастабільній області.	6
6	Надлишкові функції і їхній взаємозв'язок. Термічне рівняння стану сумішей реальних газів.	6
7	Ідеальний розчин. Парціальні величини. Теплоти змішання.	4

8	Летючість чистої речовини в різних агрегатних станах. Летючість компонента газової суміші.	2
9	Розчинність твердого тіла в рідині, рівняння Шредера. Взаємна розчинність речовин, що знаходяться в однаковому агрегатному стані.	8
10	Розчини з областю незмішування. Багатокомпонентні холодоагенти. Розчини холодоагент-масло.	12
11	Калоричні діаграми ідеального бінарного розчину для області фазових переходів. Теплові ефекти при фазових переходах у розчинах.	10
12	Переносні властивості сумішей та гетерогенних систем.	4
13	Поверхневий натяг водних розчинів, поверхнево активні домішки.	4
14	Розрахункова робота: «Термодинамічні властивості речовини в області фазової рівноваги»	10
	Разом	86

Сутністю самостійної роботи над матеріалом модулю є опрацювання лекційних тем за допомогою підручників та формулювання відповідей на запитання з цих тем, що задає викладач у поточному режимі. Цей розділ передбачає 86 годин самостійної підготовки, з них на підготовку до занять та модулів 76 годин, виконання розрахункової роботи – 10 годин.

9. Індивідуальні завдання

В якості індивідуального завдання передбачено виконання розрахункової роботи. Індивідуальне завдання має на меті закріпити відповідні теоретичні знання і одержати необхідні навички практичних розрахунків з дисципліни. В розрахунковій роботі студенти виконують підбір табличних даних та аналітичний опис на основі відповідних теоретичних рівнянь параметрів стану та умов рівноваги фаз чистої речовини.

10. Методи навчання

Лекційні заняття проводяться з застосуванням електронних засобів навчання та роздачею додаткового друкованого допоміжного матеріалу.

11. Методи контролю

Поточний контроль здійснюється під час лабораторних занять, модульного контролю та виконання розрахункової роботи, фінальний контроль – у вигляді іспиту.

Оцінювання поточних занять:

- Опрацювання матеріалу лекції оцінюється в 0,5 бали;

- Виконана лабораторна робота оцінюється максимум в 3 бали;
- Виконання завдання модульного контролю оцінюється максимум в 18 балів для модуля 1, 12 балів для модуля 2 та 15 балів для модуля 3. Модульний контроль являє собою тест з 12 питань та додатково 2 задачі для модуля 1 та 1 задачу для модуля 3. Повністю правильна відповідь на кожне з питань теоретичної частини тесту оцінюється в 1 бал. Повністю правильне рішення задачі оцінюється у 3 бали.

Критерії оцінювання поточних занять:

- Повністю вирішене завдання дає 100% відповідного балу оцінювання;
- Завдання, виконане з несуттєвими помилками оцінюється в 80-90% (загальні питання повністю розкриті, вірні базові математичні формули, графічні побудови, але є незначні помилки в визначеннях, математичних перетвореннях, розрахунках);
- Часткове виконане завдання оцінюється в 60-70% (загальні питання повністю розкриті, вірні вихідні математичні формули та графічні побудови, правильно обрана логіка рішення але є грубі помилки в визначеннях, математичних перетвореннях, розрахунках);
- Часткове виконане завдання оцінюється в 10-40%, якщо загальні питання розкриті не повністю, є помилки у вихідних математичних формулах та графічних побудовах, але правильно обрана логіка рішення задачі;
- Неправильно виконане завдання оцінюється в 0 балів.

- Виконання розрахункової роботи оцінюється максимум у 23 бали. Після перевірки пояснювальної записки студент допускається до захисту роботи. Йому видаються два завдання за темою роботи. Оцінка виставляється з урахуванням повноти і правильності їхнього вирішення. Повністю і правильно виконане завдання розрахункової роботи без вирішених завдань оцінюється не вище 8 балів. Кожне із завдань дозволяє отримати додатково не більше 5 балів. Ще 5 балів можна отримати при відповіді на 5 теоретичних питань за темою розрахункової роботи. Правильно вирішене, але недбало оформлене завдання розрахункової роботи оцінюється в 6 балів, завдання з математичними помилками оцінюється в 4-5 балів, рішення з методичними помилками оцінюється в 1-3 бали.
- Виконання розрахункової та лабораторних робіт є обов'язковою умовою для допуску до іспиту.

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
----------------------------	---------------------------------	----------------------------	-------------------------

Змістовий модуль 1			
Робота на лекціях	0...0,5	6	0...3
Виконання і захист лабораторних робіт	1...3	3	3...9
Модульний контроль	0...18	1	15...18
Виконання і захист РР	0...23	1	18...23
Змістовий модуль 2			
Робота на лекціях	0...0,5	4	0...2
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	1...3	2	2...6
Модульний контроль	0...12	1	9...12
Змістовий модуль 3			
Робота на лекціях	0...0,5	6	0...3
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	1...3	3	3...9
Модульний контроль	0...15	1	10...15
Усього за семестр			60...100

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. **Умовою допуску є здача усіх практичних робіт та розрахункової роботи.**

Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з 4 теоретичних та двох практичних завдань. Максимальна сума балів за теоретичні запитання є 60, за практичні – 40 балів.

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки.

Студент повинен знати вихідні поняття, основні моделі, рівняння та методи розрахунку теплофізичних властивостей чистих речовин та сумішей у різних агрегатних станах.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки.

Студент повинен вміти вибрати раціональну модель розрахунку теплофізичних властивостей; визначити базу даних, необхідну для опису теплофізичних властивостей речовини; оцінити сталість рівноваги та межі існування термодинамічної системи визначеного виду;

12.3 Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь по предмету. Відпрацювати та захистити всі лабораторні завдання та розрахункову роботу. Знати основні терміни, закони та рівняння. Уміти вирішити базові задачі по темам.

Добре (75 - 89). Твердо знати матеріал курсу, виконати усі завдання в обумовлений викладачами строк. Показати розуміння суті та теоретичної бази лабораторних робіт, вміння самостійно виконувати практичні завдання та розрахункову роботу. Вміти самостійно обґрунтувати вибір основних співвідношень для обраної моделі робочого середовища. Вміти розраховувати параметри стану та умови фазової рівноваги чистої та двокомпонентної речовини.

Відмінно (90 - 100). Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати усі теми. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Безпомилково виконати лабораторні роботи та розрахункову роботу, продемонструвати тверді знання відповідної теоретичної бази. Досконально знати математичні формулювання основних законів, визначення та графічне представлення параметрів фаз, умов та меж їхнього існування. Вміти вибрати раціональну модель розрахунку теплофізичних властивостей речовини та необхідні вихідні дані.

Шкала оцінювання: бальна, ECTS та національна

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. Конспект лекцій.
2. Комп'ютерні програми для лабораторних занять та самостійної роботи.
3. Комплект матеріалів на сайті кафедри: www.k205.khai.edu.

14. Рекомендована література

Базова

1. Буляндра О. Ф. Технічна термодинаміка : підруч. для студентів енерг. спец. вищ. навч. закладів / О. Ф. Буляндра. – К.: Техніка, 2001. – 320 с.
2. Павловський В.Г. Термодинаміка фізико-енергетичних процесів. Навч. посібник / В.Г.Павловський, Г.І.Павловський. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – 332 с.
3. Петухов И.И. Теплофизические свойства веществ: учеб. пособие / И.И. Петухов, Т.П. Михайленко. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 180 с.

Допоміжна

1. Кириллин В.А., Шейндлин А.Е., Шпильрайн Э.Э. Термодинамика растворов. - М.: Энергия, 1980.-290 с.
2. Шпильрайн Э.Э., Кессельман М.М. Основы теории теплофизических свойств веществ. - М.: Энергия, 1977.-196 с.
3. Базаров И.П. Термодинамика. - М.: Высшая школа, 1976 -447 с.
4. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: Спр. пос.-Л.: Химия, 1982.-592 с.
5. Теплофизические свойства жидкостей в метастабильном состоянии. Справочник/ Скрипов В.П., Сеницын Е.Н., Павлов П.А. и др. -М.: Атомиздат,1980.-208 с.

15. Інформаційні ресурси

1. Бібліотека НАКУ «ХАІ».
2. Методичний кабінет кафедри.
3. Мережа Internet.
4. Сайт кафедри: www.k205.khai.edu
5. Сайт: mentor.khai.edu, курс «Теплофізичні властивості речовин»