

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



**СИЛАБУС ВИБІРКОВОГО ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТУ
«ТЕРМОДИНАМІКА СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА СУМІШЕЙ»**

Мова навчання – *українська*

Шифр та найменування галузі знань *14 «Електрична інженерія»*

Код та найменування спеціальності *144 «Теплоенергетика»*

Освітньо-професійна програма *Технічна теплофізика та промислова
теплоенергетика*

Ступінь вищої освіти *доктор філософії*

Затверджено на засіданні

Методичної Ради зі спеціальності *144 «Теплоенергетика»*

« 20 » березня 2024 р. протокол № 1 .

Реєстраційний номер в навчальному відділі НЦООП

20-144-2024 А

Кафедра: [Екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології](#)
Викладач: **Желєзний Віталій Петрович**, доктор технічних наук, професор, професор екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології
Контакти: zheleznyv@gmail.com
Профайл [+38-096-719-17-18](#)



1. Загальна інформація

Освітній компонент викладається на 2 курсі у 4 семестрі

Кількість: кредитів - 6, годин – 180

Аудиторні заняття, годин:	Всього	Лекції	Практичні
денна	90	34	56
заочна	36	12	24
Самостійна робота, годин	Денна - 90		Заочна – 144

[Розклад занять](#)

2. Анотація освітнього компоненту

Освітній компонент «ТЕРМОДИНАМІКА СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА СУМІШЕЙ» орієнтован на підготовку дослідників, здатних працювати з неідеальними багатокомпонентними системами у хімії, фізиці та матеріалознавстві.

Основними завданнями вивчення дисципліни «ТЕРМОДИНАМІКА СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА СУМІШЕЙ» є :

- підготовка аспірантів до наукової діяльності експериментального та розрахункового характеру;
- прищеплення навичок самостійного розв'язання задач з вивчення теплофізичних властивостей складних термодинамічних систем.

Освітній компонент «ТЕРМОДИНАМІКА СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА СУМІШЕЙ» базується на знаннях, отриманих здобувачем вищої освіти в результаті вивчення освітніх компонент «Методологія наукових досліджень», «Методи дослідження процесів теплообміну в суцільних, дисперсних та багатофазних середовищах».

3. Мета освітнього компоненту

Метою викладання навчальної дисципліни «ТЕРМОДИНАМІКА СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА СУМІШЕЙ» є: вивчення експериментальних та розрахункових методів визначення теплофізичних властивостей складних термодинамічних систем, а саме – теоретичних засад цих методів та практичних способів і засобів їхньої реалізації.

У результаті вивчення курсу «ТЕРМОДИНАМІКА СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА СУМІШЕЙ» аспіранти повинні:

знати :

- методологічні основи і світоглядну спрямованість дисципліни;
- експериментальні та розрахункові методи дослідження теплофізичних властивостей речовин;
- вимірювальну техніку;
- способи обробки отриманої емпіричної інформації;
- методи прогнозування теплофізичних властивостей складних термодинамічних систем.

вміти :

- проектувати експериментальні установки для дослідження теплофізичних

властивостей складних термодинамічних систем;

- проводити експериментальні дослідження теплофізичних властивостей речовин;
- застосовувати сучасні технічні засоби виміру основних теплофізичних параметрів;
- використовувати сучасні методи статистичного аналізу результатів дослідження;
- використовувати сучасні методи та комп'ютерні засоби при обробці дослідних даних;
- виконувати розрахунки теплофізичних властивостей складних термодинамічних систем.

4. Компетентності та програмні результати навчання

У результаті вивчення освітнього компоненту «ТЕРМОДИНАМІКА СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА СУМІШЕЙ» здобувач вищої освіти отримує наступні програмні компетентності та програмні результати навчання, які визначені в Стандарті вищої освіти зі спеціальності 144 «Теплоенергетика» та освітньо-науковій програмі «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика» підготовки докторів філософії.

Інтегральна компетентність

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми у теплоенергетичній галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності, застосовувати методологію наукової та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Спеціальні (фахові) компетентності:

СК04. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у сфері теплоенергетики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК06*. Здатність обґрунтування та формулювання напрямків наукових досліджень та завдань для рішення наукових питань, створення фізичних та математичних моделей досліджуваних об'єктів та проведення їх верифікації на фізичних моделях та експериментальних установках.

Програмні результати навчання:

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

РН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у теплоенергетиці та дотичних міждисциплінарних напрямках.

РН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з теплоенергетики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

РН09*. Розуміти прийоми математичного моделювання процесів перенесення теплоти та маси, що включають створення математичних моделей, що відбивають причинно-наслідкові зв'язки явищ; дослідження математичних моделей, рішення наукових задач.

5. Інформаційний обсяг освітнього компоненту

5.1 Перелік лекційних занять

	Зміст теми	Кількість годин	
		денна	заочна
Змістовний модуль 1: Фундаментальні основи та математичний апарат. Теорія розчинів та сумішей.			
1.	Постулати термодинаміки для багатокомпонентних систем. Екстенсивні та інтенсивні параметри. Рівняння фундаментального стану.	2	0.5
2.	Математичні методи. Перетворення Лежандра. Співвідношення Максвелла для систем зі змінною кількістю речовини. Гіперповерхні термодинамічних потенціалів.	2	0.5
3.	Хімічний потенціал та умови рівноваги. Критерії стабільності Гіббса. Рівняння Гіббса-Дюгема та його роль у перевірці узгодженості даних.	2	1
4.	Виведення термодинамічних співвідношень для відкритих систем.	2	1
5.	Ідеальні та неідеальні суміші. Фугітивність (леткість) та активність. Стандартні стани.	2	1
6.	Надлишкові термодинамічні функції. Термодинаміка змішування. Коефіцієнти активності.	2	1
7.	Локальні моделі складу (Local Composition Models). Рівняння Вільсона, NRTL, UNIQUAC. Групові моделі (UNIFAC).	2	1
8.	Рівняння стану (EoS) для сумішей. Правила змішування (van der Waals, Wong-Sandler). Кубічні рівняння стану (SRK, PR) та їх модифікації.	2	1
Змістовний модуль 2: Фазові рівноваги та критичні явища. Специфічні складні системи. Нерівноважна термодинаміка та статистичні методи.			
1.	Топологія фазових діаграм. Класифікація Ван-дер-Ваальса та Конінвельда. Азеотропія (позитивна, негативна, гетероазеотропія).	2	0.5
2.	Критичні явища в сумішах. Критичні точки, лінії та кінцеві точки. Скейлінг та теорія флуктуацій.	2	0.5
3.	Рівновага рідина-рідина (LLE) та тверде-рідина (SLE). Розшарування сумішей та евтектики.	2	1
4.	Термодинаміка електролітів. Рівняння Дебая-Гюккеля. Модель Пітцера. Специфічна взаємодія іонів.	2	1
5.	Полімерні системи. Теорія Флорі-Хаггінса. Фазовий поділ у розчинах полімерів.	2	1
6.	Поверхневі явища та адсорбція. Термодинаміка Гіббса для поверхонь розділу. Ізотерми адсорбції в пористих середовищах.	2	1
7.	Основи нерівноважної термодинаміки. Виробництво ентропії. Співвідношення Онзагера. Лінійні закони (Фур'є, Фіка, Ома).	2	1
8.	Вступ до статистичної термодинаміки сумішей. Конфігураційний інтеграл. Зв'язок між мікроскопічними властивостями та макроскопічним станом.	2	1
9.	Методи молекулярного моделювання. Основи методів Монте-Карло та молекулярної динаміки для розрахунку термодинамічних властивостей.	2	1
Разом за ОК:		34	12

5.2 Перелік практичних робіт

№ з/п	Назва практичної роботи	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Побудова фазових діаграм складних сумішей за допомогою термодинамічного софту.	6	2
2	Розрахунок точок роси (dew point) та точок кипіння (bubble point) для багатокомпонентних систем.	6	2
3	Моделювання коефіцієнтів активності бінарних систем у програмних середовищах (Python/Octave).	6	2
4	Розрахунок параметрів бінарної взаємодії за експериментальними даними VLE (рівновага рідина-пара).	6	2
5	Розрахунок осмотичних коефіцієнтів та коефіцієнтів активності сильних електролітів.	8	4
6	Моделювання ізотерм адсорбції багатокомпонентних газів (IAST - Ideal Adsorbed Solution Theory).	8	4
7	Чисельне розв'язання рівнянь переносу.	8	4
8	Виконання міні-проекту: "Молекулярно-динамічне моделювання коефіцієнта дифузії у бінарній суміші".	8	4
Всього за ОК:		56	24

5.3 Перелік завдань до самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Опрацювання лекційного матеріалу	12	32
2	Підготовка до практичних робіт	26	32
3	Опрацювання окремих розділів програми, які не виносяться на лекції	26	54
4	Виконання індивідуальних навчально-дослідних завдань	26	26
Всього за ОК:		90	144

6. Система оцінювання та вимоги

Контроль успішності навчання здобувача проводиться у формах поточного і підсумкового контролів.

Формами поточного контролю є:

- модульні контрольні роботи;
- тестування знань здобувачів з певних тем або з певних окремих питань ОК;
- виконання і захист практичних робіт;
- усне опитування.

Підсумковий контроль – *диф. залік*.

Нарахування балів:

Вид роботи, що підлягає контролю	Максимальна кількість оціночних балів	
	Денна	Заочна
Змістовний модуль 1. Основні поняття і термінологія. Особливості при експериментальному дослідженні теплофізичних властивостей складних термодинамічних систем		
Лекційний курс*	-	-
Практичні роботи*	15	15
Самостійна робота*	35	35
Всього за змістовний модуль 1	50,0	50,0
Змістовний модуль 2. Методи моделювання теплофізичних властивостей складних термодинамічних систем		
Лекційний курс*	-	-
Практичні роботи*	10	10
Тестування*	5	5
Самостійна робота*	35	35
Всього за змістовний модуль 2	50,0	50,0
Всього	100,0	

*Є можливість визнання результатів неформальної освіти відповідно до п.2 [Положення про порядок перезарахування результатів навчання \(навчальних дисциплін\) в Одеському національному технологічному університеті](#).

Критерії оцінювання програмних результатів навчання здобувачів
Підсумковий контроль – диф. залік.

Практичні роботи (оцінювання однієї роботи денна та заочна форма навчання)

4,4 - 5,0 балів	<i>Практична відпрацьована та вчасно захищена, надані повні обґрунтовані відповіді</i>	відмінно
4,1 - 4,3 балів	<i>Практична відпрацьована та вчасно захищена, при відповіді допущені неточності</i>	дуже добре
3,7 - 4,0 балів	<i>Практична відпрацьована, відповіді неповні, допущені помилки</i>	добре
3,0 - 3,6 балів	<i>Практична відпрацьована, відповіді незадовільні, допущені грубі помилки</i>	достатньо
0,0 - 2,9 балів	<i>Практична не відпрацьована або дані незадовільні відповіді</i>	незадовільно

Тестування

4,4 - 5,0 балів	90 - 100 % правильних відповідей	відмінно
4,1 - 4,3 балів	74 – 89% правильних відповідей	дуже добре

3,7 - 4,0 балів	<i>60 – 73% правильних відповідей</i>	добре
3,0 - 3,6 балів	<i>35 – 59 % правильних відповідей</i>	достатньо
0,0 - 2,9 балів	<i>0-35 % правильних відповідей</i>	незадовільно

Самостійна робота* (оцінювання теми 1 денної та заочної форм навчання)

4,4 - 5,0 балів	<i>Самостійна робота відпрацьована та вчасно захищена, надані повні обґрунтовані відповіді</i>	відмінно
4,1 - 4,3 балів	<i>Самостійна робота відпрацьована та вчасно захищена, при відповіді допущені неточності</i>	дуже добре
3,7 - 4,0 балів	<i>Самостійна робота відпрацьована, відповіді неповні, допущені помилки</i>	добре
3,0 - 3,6 балів	<i>Самостійна робота відпрацьована, відповіді незадовільні, допущені грубі помилки</i>	достатньо
0,0 - 2,9 балів	<i>Самостійна робота не відпрацьована або дані незадовільні відповіді</i>	незадовільно

* Наповнення таблиці може змінюватися у залежності від форми самостійної роботи (реферати, доповіді з презентаціями, індивідуальні навчально-дослідні завдання тощо).

Самостійна робота* (оцінювання тем 2,3,4 денної та заочної форм навчання)

8,8 - 10,0 балів	<i>Самостійна робота відпрацьована та вчасно захищена, надані повні обґрунтовані відповіді</i>	відмінно
8,1 - 8,7 балів	<i>Самостійна робота відпрацьована та вчасно захищена, при відповіді допущені неточності</i>	дуже добре
7,4 - 8,0 балів	<i>Самостійна робота відпрацьована, відповіді неповні, допущені помилки</i>	добре
6,0 - 7,3 балів	<i>Самостійна робота відпрацьована, відповіді незадовільні, допущені грубі помилки</i>	достатньо
0,0 - 5,9 балів	<i>Самостійна робота не відпрацьована або дані незадовільні відповіді</i>	незадовільно

* Наповнення таблиці може змінюватися у залежності від форми самостійної роботи (реферати, доповіді з презентаціями, індивідуальні навчально-дослідні завдання тощо).

7. Засоби діагностики успішності навчання

Методи навчання, які використовуються у процесі проведення занять, а також самостійних робіт за ОК:

Лекційні заняття: Словесні методи: розповідь, пояснення, бесіда, дискусія; Наочні: ілюстрація, спостереження, демонстрація; пояснювально- демонстративний метод, проблемний виклад.

Практичні заняття: аналіз конкретних ситуацій (проблемних, звичайних, нетипових); групове обговорення питання; дискусії, виконання ситуаційно-розрахункових задач, інтерактивні методи навчання (проблемне навчання, робота в малих групах, кейс-метод, мозговий штурм, проектний метод), тренінг, технології ситуативного моделювання, технології опрацювання дискусійних питань

Самостійна робота(реферати, доповіді з презентаціями, індивідуальні навчально-дослідні завдання тощо): робота з навчально-методичними матеріалами, робота зі статистично-аналітичними звітами, складання планової та звітної документації, науково-дослідна робота студентів (методи пізнання, аналогії, оцінка, ілюстрація тощо), складання скетчів за темами лекцій, реферування, конспектування)

8. Інформаційні ресурси

Базові (основні):

1. Експериментальна теплофізика. Методи дослідження теплофізичних властивостей речовин [Текст] : підручник / В. П. Желєзний, В. З. Геллер, Ю. В. Семенюк ; Одес. нац. акад. харчових технологій. — Одеса : Фенікс, 2016. — 320 с.
2. Теплофізичні властивості енергоносіїв у теплотехнологіях [Електронний ресурс] : конспект лекцій призначений для студентів спец. 144 "Теплоенергетика" / О. Я. Хлієва ; ОНАХТ. — Одеса : ОНАХТ, 2020. — 75 с.
3. Наноматеріали та нанотехнології. Їх використання у харчовому виробництві [Текст] : навч. посіб. / В. А. Косенко, С. В. Кадомський, В. В. Малышев ; Ун-т "Україна" Інж.-технол. ін-т. — Київ : Ун-т "Україна", 2017. — 327 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 314-320.
4. Теплофізика [Текст] / Ф. Морс ; под ред. А. Ф. Чудновского. — М. : Наука, 1968. — 416 с.
5. Теплотехнічні вимірювання та прилади [Електронний ресурс] : підручник / В. З. Геллер, В. П. Желєзний, Ю. В. Семенюк, С. М. Губанов ; МОН України, Одеська нац. акад. харчових технологій. — Одеса : ОНАХТ, 2018. — 253 с.

Додаткові:

1. Теплофізичні властивості конденсованих фаз метану та його галоїдопохідних [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06-технічна теплофізика та промислова теплоенергетика: захист 04.07.2019 / О. С. Бодюл ; наук. кер. Л.М. Якуб; МОН України, Одеська нац. акад. харчових технологій. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — 190 с. — Бібліогр.: с. 142-158.
2. Про схвалення Концепції Державної цільової наук.-техн. програми "Нанотехнології та наноматеріали" на 2010-2014 роки: розпорядження від 2.04.2009р. №331-р [Текст] / К. М. Україна. // Офіційний вісник України : Збірник нормативно-правових актів / Свідомство про Держ.реєстрацію друкованогозасобу масової інформ. СеріяКВ №2173 від 24.09.1996 р. — Київ : Державне підприємство Центр оцінки та інформації, 2009. — №26. — С.57-61.
3. Калоричні властивості нанофлюїдів, перспективних для застосування в холодильній техніці [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 - технічна теплофізика та промислова теплоенергетика / І. В. Мотовий ; наук. кер. В. П. Желєзний. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — 193 с. — Бібліогр.: 159-160.
4. Наукове обґрунтування використання нанофлюїдів для підвищення ефективності холодильних машин [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.14 - холодильна, вакуумна та компресорна техніка / О. Я. Хлієва ; наук. консультант В. П. Желєзний. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — 343 с. — Бібліогр.: 294-317.
5. Взаємозв'язок між поверхневим натягом та тиском насичених парів для модельних нанофлюїдів [Текст] / О. Я. Хлієва, Д. О. Івченко, К. Ю. Ханчич etc. // Холодильна техніка та технологія. — О. : ОНАХТ, 2019. — Вип. 1(Т.55). — С.40-46.
6. Експериментальне дослідження коефіцієнта тепловіддачі при кипінні нанохолодоагенту R 141b/ наночастинки TiO₂ на поверхнях з різним ступенем змочування [Текст] / Т. В. Лук'янова, О. Я. Хлієва, Ю. В. Семенюк та ін. // Холодильна техніка та технологія. — О. : ОНАХТ, 2018. — Т.54, Вип. 3. — С.47-54.
7. Prausnitz, J. M., Lichtenthaler, R. N., & de Azevedo, E. G. "Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria".
8. Sandler, S. I. "Chemical, Biochemical, and Engineering Thermodynamics".
9. Prigogine, I. "Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes".

9. Політика освітнього компоненту

Політика всіх освітніх компонент в ОНТУ є уніфікованою та визначена з урахуванням законодавства України, [Корпоративному кодексу ОНТУ](#) , [Кодексу академічної доброчесності ОНТУ](#), [Положення про організацію освітнього процесу ОНТУ](#), [Положення про порядок перезарахування результатів навчання \(навчальних дисциплін\) в ОНТУ](#), [вимог ISO 9001:2015](#) та [роботодавців](#).

Викладач

/ПІДПИСАНО/

Віталій ЖЕЛІЗНИЙ

Розглянуто та затверджено на засіданні кафедри ЕТ та ПЕ

Протокол від «01» вересня 2024 р. № 1 .

Завідувач кафедри

/ПІДПИСАНО/

Юрій СЕМЕНЮК

ПОГОДЖЕНО:

Гарант ОП Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика
професор кафедри ЕТ та ПЕ

/ПІДПИСАНО/

Борис КОСОЙ