



## Спеціальні розділи термодинаміки Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

*Третій (освітньо-науковий)*

Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія<sup>1</sup></i>
Спеціальність	<i>144 Теплоенергетика</i>
Освітня програма	<i>Назва</i>
Статус дисципліни	<i>Обов'язкова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин лекційні заняття :16 години семінарські заняття: 10 годин самостійна робота аспіранта: 94 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>1 КР 1 іспит</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України, Фіалко Наталія Михайлівна, nmfailko@ukr.net Семінарські: д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України, Фіалко Наталія Михайлівна, nmfailko@ukr.net, к.т.н., ст.н.с., Шеренковський Юлій Владиславович, j_sher@ukr.net</i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)</i>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Курс «Спеціальні розділи термодинаміки» є елементом професійної підготовки фізики-енергетичного циклу. Основною метою навчальної дисципліни є отримання аспірантами професійних знань за різними розділами термодинаміки. Прослухавши курс, аспіранти повинні вміти самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності в сфері теплоенергетики на основі використання термодинамічних методів аналізу. А також застосовувати основні положення різних розділів термодинаміки, здійснювати розрахунки, пов'язані з основними фізичними явищами, що вивчаються в межах даної дисципліни.

Відповідність формування у аспірантів компетентностей:

#### **ЗДАТНІСТЬ:**

- Самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі в галузі теплоенергетики на основі методів термодинамічного аналізу;
- Самостійно робити розрахунки, пов'язані з термодинамічними аспектами фізичних явищ, що мають місце в теплоенергетичному устаткуванні та теплотехнологіях

<sup>1</sup> В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:

Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану. Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

- *ІК1. 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.*
- *ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;*
- *ЗК3. Здатність розв'язувати комплексні проблеми у сфері теплоенергетики на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності;*
- *СК2. Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та англійською мовами, глибоке розуміння англійських наукових текстів за напрямом досліджень з теплоенергетики;*
- *СК3. Здатність здійснювати науково-педагогічну діяльність у вищій освіті з теплоенергетики.*
- *СК4. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у сфері теплоенергетики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.*

*Після засвоєння навчальної дисципліни аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:*

#### **ЗНАННЯ:**

- *основних принципів та теорем термодинаміки простих та складних систем, термодинаміки нерівноважних процесів, методу характеристичних функцій та співвідношень між ними;*
- *основних положень термодинаміки фазових переходів та поверхневих явищ.*

#### **УМІННЯ:**

- *застосовувати основні положення термодинаміки, проводити експериментальні роботи за матеріалом курсу, здійснювати розрахунки, пов'язані з основними фізичними явищами, що вивчаються в межах даної дисципліни.*
- *РН02. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми теплоенергетики державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях;*
- *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;*
- *РН07. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи;*
- *РН08. Створювати методичне забезпечення, організовувати та проводити викладання професійно-орієнтованих дисциплін теплоенергетики на рівні, що відповідає вимогам вищої школи.*

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

*Вивчення курсу «Спеціальні розділи термодинаміки» базується на таких курсах:*

*«Загальна фізика», «Вища математика», «Математичний аналіз», «Технічна термодинаміка».*  
*Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Спеціальні розділи термодинаміки» можна використовувати в подальшому під час навчання спеціалізованих дисциплін фізико-енергетичного циклу, що забезпечує індивідуальну наукову роботу аспірантів.*

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1 Концептуально-методичний базис термодинаміки**

*Тема 1. Базові поняття і положення.*

*Тема 2. Основні принципи термодинаміки.*

### **Розділ 2 Складні термодинамічні системи**

Тема 3. Основні поняття та положення термодинаміки складних систем.

Тема 4. Методи термодинаміки. Умови рівноваги і стійкості термодинамічних систем.

Тема 5. Фазові переходи і критичні явища.

Тема 6. Поверхневі явища.

### **Розділ 3 Основи термодинаміки нерівноважних систем**

Тема 7. Засади термодинаміки лінійних незворотних процесів.

Тема 8. Основні положення нелінійної нерівноважної термодинаміки

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Базова**

1. Николис Г., Пригожин И.Р. Современная термодинамика. М.: Мир. 2000. 352 с.
2. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: 2-ге вид., випр. К.: Техніка, 2006. – 320 с.
3. Константинов С.М. Технічна термодинаміка – К.: Політехніка, 2001 – 368 с.
4. Булавін Л.А., Ключніков О.О., Плевачук Ю.О., Склярчук В.М., Сисоєв В.М. Термодинаміка розплавів. – Інститут проблем безпеки АЕС, 2014, 405с.
5. Мороз І.О. Основи термодинаміки. Навчальний посібник для студентів ВНЗ України. – Суми: СумДПУ ім А.С. Макаренка, 2009. – 180 с.
6. Венгер Є.Ф., Грибань В.М., Мельничук О.В. Основи теоретичної фізики. К.: Вища школа, 2011. 430 с.
7. Булавін Л.А., Гаврюшенко Д.А., Сисоєв В.М. Нерівноважна термодинаміка. Ч.2. Київ, “Київ. ун-т”, 2004.-165с.
8. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с.
9. Техническая термодинамика /Под. Ред. В.И. Крутова, М.: Высшая школа, 1991. – 384 с.
10. В'яла А., Благовістна В., Меньяйлов С. Фізика. Модуль «Молекулярна фізика й термодинаміка». – Київ: НАУ, 2010. – 192 с.
11. Сычев В.В. Сложные термодинамические системы. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.
12. Малишев В., Кретов В., Гладка Т. Технічна термодинаміка та теплопередача. – Київ: Ун-т» Україна», 2015. - 258 с.
13. Сборник задач по общему курсу физики. В 5 кн. Кн. II. Термодинамика и молекулярная физика. /Гинзбург В.Л., Левин Л.М., Сивухин Д.В., Яковлев И.А. Под ред. Сивухина Д.В. – 5-е изд., М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 176 с.

### **Допоміжна**

1. Куліш В.В., Соловійов А.М., Кузнецова О.Я., Кулішенко В.М. Фізика для інженерних спеціальностей. Кредитно-модульна система. Навч. посібник. – у 2 ч. – Ч. 1. – К.: НАУ, 2004. – 456 с.
2. Приходько М.А., Герасимов Г.Г. Термодинаміка та теплопередача. – Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2008. – 250 с.
3. Николис Г., Пригожин И.Р. Познание сложного. М.: Мир. 1990. 342 с.
4. Эбелинг В., Энгель В., Файстель Р. Физика процессов эволюции. М.: УРСС, 2001. 326 с.
5. Кайзер Дж. Статистическая термодинамика неравновесных процессов /Дж. Кайзер. М.: Мир, 1990. 608 с.
6. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с.
7. Леонова В.Ф. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1968. – 158 с.
8. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с.
9. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир. 1985. 422 с
10. Хейвуд Р. Термодинамика неравновесных процессов. – М.: Мир, 1983. – 492 с.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№ з/п	<p align="center"><b>Назва теми лекції та перелік основних питань</b> (перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)</p>
<p><b>1.</b></p>	<p><b>Базові поняття і положення.</b>  <i>Історична довідка розвитку термодинаміки. Основні поняття термодинаміки. Термодинамічна рівновага. Загальний принцип термодинаміки, нульовий принцип термодинаміки) Поняття температури. Термометрія. Ідеально-газова шкала температур. Квazистатичні процеси.</i></p> <p><i>Література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: 2-ге вид., випр. - К.: Техніка, 2006. – 320 с.</li> <li>Константинов С.М. Технічна термодинаміка – К.: Політехніка, 2001. 368 с.</li> <li>Малишев В., Кретов В., Гладка Т. Технічна термодинаміка та теплопередача. – Київ: УН-т«Україна», 2015. - 258 с.</li> <li>Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с.</li> <li>Мороз І.О. Основи термодинаміки. Навчальний посібник для студентів ВНЗ України. – Суми: СумДПУ ім А.С. Макаренка, 2009. – 180 с.</li> </ol> <p><i>Завдання СРА</i></p> <p><i>Основні характеристики термодинаміки</i></p>
<p><b>2.</b></p>	<p><b>Основні принципи термодинаміки.</b>  <i>Дві форми запису першого принципу термодинаміки. Закон Гесса. Вихідні фізичні формулювання другого принципу термодинаміки (постулати Кельвіна та Клаузіуса). Ентропія. Аналітичний вираз другого принципу термодинаміки для оборотних та необоротних процесів. Другий принцип і різні аспекти асиметрії природи. Ентропія за Больцманом. Парадокс Гіббса. Третій принцип термодинаміки.</i></p> <p><i>Література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: 2-ге вид., випр. - К.: Техніка, 2006. – 320 с.</li> <li>Константинов С.М. Технічна термодинаміка – К.: Політехніка, 2001 – 368 с.</li> <li>Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с.</li> <li>Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с.</li> <li>Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.</li> </ol> <p><i>Завдання СРА</i></p> <p><i>Шляхи відкриття першого принципу термодинаміки. Принцип адіабатної недосяжності. Закон зростання ентропії. Основні наслідки третього принципу термодинаміки.</i></p>
<p><b>3.</b></p>	<p><b>Основні поняття та положення термодинаміки складних систем</b>  <i>Термодинамічний ступінь свободи. Кількість дії. Узагальнені координати та потенціали стану системи. Узагальнення поняття роботи. Кількісна</i></p>

	<p><i>міра впливів. Рівняння першого принципу термодинаміки для складних систем.</i></p> <p><b>Література</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сычев В.В. Сложные термодинамические системы. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.</li> <li>2. Леонова В.Ф. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1968. – 158 с.</li> </ol> <p><b>Завдання СРА</b></p> <p>Критерії наявності взаємодії системи з навколишнім середовищем</p>
<p><b>4.</b></p>	<p><b>Методи термодинаміки. Умови рівноваги і стійкості термодинамічних систем.</b></p> <p><i>Метод циклів. Методична база методу характеристичних функцій (основне рівняння термодинаміки та перетворення Лежандра). Основні процедури реалізації методу (на прикладах внутрішньої енергії, ентальпії, вільної енергії та енергії Гіббса). Диференціальні співвідношення термодинаміки (рівняння Максвелла). Характеристичні функції та термодинамічні потенціали. Умови рівноваги та стійкості термодинамічних систем. Характеристичні функції як критерій рівноваги та стійкості систем.</i></p> <p><b>Література</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с.</li> <li>2. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с.</li> <li>3. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.</li> <li>4. Леонова В.Ф. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1968. – 158 с.</li> </ol> <p><b>Завдання СРА</b></p> <p>Рівняння Гіббса-Гельмгольца. Термодинамічні потенціали складних систем.</p>
<p><b>5.</b></p>	<p><b>Фазові переходи і критичні явища</b></p> <p><i>Термодинамічні фази. Умови фазової рівноваги. Правило фаз Гіббса. Класифікація фазових переходів. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Фазові діаграми. Властивості речовини в критичному стані. Визначення критичних параметрів. Неперервність газоподібного і рідкого стану речовини. Закон відповідних станів.</i></p> <p><b>Література</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Техническая термодинамика /Под. Ред. В.И. Крутова, М.: Высшая школа, 1991. – 384 с.</li> <li>2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.</li> <li>3. Леонова В.Ф. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1968. – 158 с.</li> <li>4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с.</li> </ol> <p><b>Завдання СРА</b></p> <p>Особливості фазових переходів I роду на прикладі процесу кипіння.</p>

<p><b>6.</b></p>	<p><b><i>Поверхневі явища</i></b></p> <p><i>Поверхневий натяг рідини. Коефіцієнт поверхневого натягу. Формула Лапласа. Температурна залежність коефіцієнта поверхневого натягу. Явища змочування. Кут змочування. Формула Жюрена (капілярні явища). Тиск насиченої пари над викривленою поверхнею. Формула Вільяма Томпсона.</i></p> <p><i>Література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1975. – 532 с.</li> <li>2. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с.</li> <li>3. В'яла А., Благовістна В., Меньяйлов С. Фізика. Модуль «Молекулярна фізика й термодинаміка». – Київ: НАУ, 2010. – 192 с.</li> </ol> <p><i>Завдання СРА</i></p> <p>Поверхневий натяг і утворення нових фаз. Механізм утворення дощу.</p>
<p><b>7.</b></p>	<p><b><i>Засади термодинаміки лінійних незворотних процесів.</i></b></p> <p><i>Локальна рівновага і основне рівняння термодинаміки нерівноважних процесів. Рівняння балансу і закони збереження різних величин. Лінійний закон зв'язку між потоками і силами. Співвідношення взаємності Онзагера і принцип Кюрі.</i></p> <p><i>Література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с.</li> <li>2. Венгер Є.Ф., Грибань В.М., Мельничук О.В. Основи теоретичної фізики. К.: Вища школа, 2011. 430 с.</li> <li>3. Булавін Л.А., Ключніков О.О., Плевачук Ю.О., Складчук В.М., Сисоєв В.М. Термодинаміка розплавів. Інститут проблем безпеки АЕС, 2014, 405с.</li> <li>4. Булавін Л.А., Гаврюшенко Д.А., Сисоєв В.М. Нерівноважна термодинаміка. Ч.2. Київ, “Київ. ун-т”, 2004.-165с.</li> </ol> <p><i>Завдання СРА</i></p> <p>Узагальненні сили і потоки для різних явищ переносу (речовини, електронного заряду, теплоти тощо).</p>
<p><b>8.</b></p>	<p><b><i>Основні положення нелінійної нерівноважної термодинаміки.</i></b></p> <p><i>Універсальний критерій еволюції Гленсдорфа-Пригожина. Просторові дисипативні структури комірки Бенара. Часові і просторово-часові дисипативні структури. Реакція Білоусова-Жаботинського. Нерівноважна термодинаміка і синергетика. Принципи самоорганізації.</i></p> <p><i>Література</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Пригожин И.Р. Современная термодинамика. М.: Мир. 2000. 352 с.</li> <li>2. Николис Г., Пригожин И.Р. Познание сложного. М.: Мир. 1990. 342 с.</li> <li>3. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир. 1985. 422 с</li> <li>4. Базаров И.П. Термодинамика.- Изд-е 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. 376 с.</li> </ol> <p><i>Завдання СРА</i></p>

<i>Переходи в процесах самоорганізації від не порядку в порядок або порядку в не порядок в різних розділах фізики.</i>
--

## Назва теми практичних занять (Теми семінарів)

Основні завдання циклу практичних занять направлені на закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях і прищеплюють навички їх використання при вирішенні практичних завдань.

№ з/п	Назва теми заняття
1.	Концептуально-методичний базис термодинаміки
2.	Складні термодинамічні системи
3.	Метод характеристичних функцій.
4.	Фазові переходи і поверхневі явища
5.	Термодинаміка незворотних процесів

## 6. Самостійна робота аспіранта

Завданням самостійної роботи аспірантів є навчити аспірантів самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і осмислювати його.

На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:

- обробка і осмислення інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;
- робота з відповідними підручниками та особистим конспектом лекцій;
- підготовка до складання екзамену.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- відвідування лекцій та семінарських занять
- активність на семінарських та лекційних заняттях, регулярна самостійна робота
- дотримання стандартів академічної доброчесності.
- Відвідування лекцій та семінарських занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, аспірантам рекомендується відвідувати усі види занять (як лекцій, так і семінарів);
- Moodle та інші інтернет ресурси, що надає викладач тощо).

### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Вказуються всі види контролю та бали за кожен елемент контролю, наприклад:

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття

Семестровий контроль: екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання семестровий рейтинг більше 30 балів.

Поточний контроль: опитування за темою лекції. Максимальна кількість балів – 20.

Контроль на семінарських заняттях.  
Семестровий контроль.:  
Умови допуску до екзамену - більше 30 балів.

Максимальна кількість балів – 40.  
Екзамен – 40 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

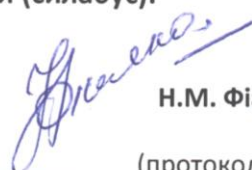
#### 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (наприклад, як додаток до силабусу);
- можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою;
- інша інформація для аспірантів щодо особливостей опанування навчальної дисципліни.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено

Професор, доктор технічних наук



Н.М. Фіалко

Ухвалено Вченою радою ІТТФ НАН України \_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_)