



## ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ

# ТЕПЛОНАСОСНІ ТЕХНОЛОГІЇ. КОГЕНЕРАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ. АДАПТАЦІЯ ДО ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ КЛІМАТУ.

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	144 Теплоенергетика
Освітня програма	Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна (денна)/дистанційна/змішана
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній
Обсяг дисципліни	150 годин / 5 кредитів ЄКТС (лекційні заняття – 16 год., практичні заняття – 10 год., СРС – 124 год.)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектори: чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф. Басок Борис Іванович, <a href="mailto:borys.basok@gmail.com">borys.basok@gmail.com</a> д.т.н., ст. наук. співр, Дубовський Сергій Васильович, <a href="mailto:s.w.dubovskoy@gmail.com">s.w.dubovskoy@gmail.com</a>
Розміщення курсу	

### Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Теплонасосні технології. Когенераційні технології. Адаптація до глобального потепління клімату» дозволить отримати теоретичні знання та практичні навички з дослідження і практичного застосування теплонасосних та когенераційних технологій і устаткування для їх реалізації, а також із впливу енергетики на глобальне потепління клімату, протидії йому та адаптації до пагубних змін клімату, в т.ч. за рахунок заходів з підвищення енергоефективності. Ці знання дадуть змогу аспірантам самостійно складати та застосовувати на практиці технології теплових насосів та когенерації, проводити теплофізичний аналіз процесів в них, складати розрахункові схеми та виконувати обробку результатів досліджень. Окрім цього аспіранти опанують знання про причини, механізми та наслідки впливу енергетики на глобальне потепління та можливі варіанти зменшення цього впливу або адаптації до нього. Програма навчальної дисципліни «Теплонасосні технології. Когенераційні технології. Адаптація до глобального потепління клімату» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика».

**Метою** навчальної дисципліни «Теплонасосні технології. Когенераційні технології. Адаптація до глобального потепління клімату» є ознайомлення аспірантів другого року навчання з загальними основами досліджень процесів використання теплоти та електроенергії,

методами розрахунку високоефективних виробництв теплової та електричної енергії, розроблення та впровадження заходів з енергоефективності та енергозбереження.

**Предметом** навчальної дисципліни є формування теоретичних знань та практичних навичок з розробки заходів з енергозбереження та енергоефективності на основі використання високоефективних теплових насосів, високоефективного когенераційного виробництва теплоти та електрики і завдяки цьому в певній мірі протидіяти глобальному потеплінню клімату, в т.ч. зумовленого енергетичною галуззю.

**Компетентності:** самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі теплових процесів в теплових насосах та когенераційних установках; розуміти причини та наслідки впливу енергетики на глобальне потепління; рекомендувати підходи та заходи до зменшення потепління, а також пропонувати заходи з адекватної адаптації до потепління; обробляти та аналізувати результати розрахункових досліджень; розробляти комплекс заходів з підвищення кінцевої енергоефективності енергетичної галузі на засадах її декарбонізації.

**Програмні результати навчання:** застосовувати методології для дослідження процесів тепло масообміну і генерації енергії, планувати й реалізовувати енергоефективні заходи в сфері комунальної енергетики, брати участь в розробці інноваційних підходів та заходів з енергозбереження та енергоефективності.

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

До початку вивчення дисципліни аспіранти повинні щонайменше мати базові знання з основ інженерії, систем розподілу електричної та теплової енергії та керування ними, інформаційних технологій в системах енергопостачання, базовий рівень володіння англійською мовою не нижче А2. Компетентності та програмні результати навчання, одержані в процесі вивчення дисципліни, є необхідними для подальшого якісного виконання аспірантами індивідуальних наукових досліджень та складання дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеня доктора філософії.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

**Тема 1.** Енергоефективність, поняття та визначення. Стан законодавства України та ЄС в області енергоефективності. Загальне постачання первинної енергії в Україні та у світі. Показник енергоефективності EROEI. Кінцеве енергоспоживання.

**Тема 2.** Енергоефективність промисловості. Енергетичні стратегії України. Базові показники енергоефективності. Національний план з енергетики та клімату в Україні до 2030 року. «Зелений» курс енергетики ЄС. Сценарії MEA по розвитку світової енергетики до 2050 року.

**Тема 3.** Кіотський протокол, Паризька угода, Кліматичний пакт Глазго, Монреальський протокол, Куньмін-Монреальська глобальна рамкова програма. Планетарні кордони стійкості розвитку.

**Тема 4.** Теплонасосний центр ІТТФ НАН України. Парокомпресійні теплові насоси, робочі тіла.

**Тема 5.** Абсорбційні теплові насоси.

**Тема 6.** Перспективи розвитку теплових насосів.

**Тема 7.** Високоефективні когенераційні технології на основі газопоршневих двигунів.

**Тема 8.** Високоефективні когенераційні технології на основі газових турбін. Мікротурбінні когенераційні технології.

**Тема 9.** Когенераційні технології на основі промислових та супутніх газів.

**Тема 10.** Світове виробництво енергії та процеси нагрівання довкілля.

**Тема 11.** Світові викиди парникових газів. Зростання концентрації CO<sub>2</sub>.

**Тема 12.** Причини і механізми потепління клімату.

**Тема 13.** Політики запобігання потеплінню клімату, зменшення його негативному впливу та адаптації до нього.

**Тема 14.** Декарбонізація світової і регіональної енергетики. Сценарії МЕА. Перспективні енергетичні технології.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Базова

1. Організаційно-економічні механізми модернізації теплоенергетики України / під ред. Баска Б.І. К.: 2015. - 338 с.
2. Арсен'єв В. М. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навчальний посібник / В. М. Арсен'єв, С. С. Мелейчук. Суми: Сумський державний університет, 2018. 364 с. [https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/70532/1/Arseniev\\_teplovi.pdf;jsessionid=CC57AC2CEEF782289E8CFA8E42413AB](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/70532/1/Arseniev_teplovi.pdf;jsessionid=CC57AC2CEEF782289E8CFA8E42413AB)
3. Теплові насоси та їх використання: навч. посіб. / М.К. Безродний, І.І. Пуховий, Д.С. Купра. Київ.: НТУУ «КПІ», 2013. 312 с.

##### Додаткова література (факультативно / ознайомлення)

4. Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Дубовський С.В. Енергетика і глобальне потепління. Київ. Наукова думка. 2023. 170 с.
5. Басок Б.І., Новосельцев О.В., Дубовський С.В., Базєєв Є.Т. Теплозабезпечення населених пунктів. Енергоефективність, інновації, енергоменеджмент. Київ: Наукова думка. 2020. 243 с.
6. Карп І.М., Нікітін Є.Є., Басок Б.І., Дубовський С.В. та ін. Стан та шляхи розвитку систем централізованого тепlopостачання в Україні. Київ, Наукова думка, т. 2, 2022. 200 с.
7. Енергетична ефективність теплонасосних схем тепlopостачання: моногр. / М.К. Безродний, Н.О. Притула. К.: НТУУ «КПІ», 2012. 208 с.
8. Energy Technology Perspectives. 2023. 464 p. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a86b480e-2b03-4e25-bae1-da1395e0b620/EnergyTechnologyPerspectives2023.pdf>
9. The Future of Heat Pumps, 2022. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>
10. НАЦІОНАЛЬНИЙ ПЛАН З ЕНЕРГЕТИКИ ТА КЛІМАТУ на період до 2030 року. 2024 р. 450 с. <https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=17f558a7-b4b4-42ca-b662-2811f42d4a33&title=NatsionalniiPlanZEnergetikiTaKlimatuNaPeriodDo2030-Roku>
11. Басок Б.І., Резакова Т.А., Коломейко Д.А., Матвєєв Ю.Б. Когенерація в децентралізованій і відновлюваній енергетиці. Київ, 2013. 408 с.
12. Когенераційні технології в малій енергетиці: монографія / В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андрєєв, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Ін-т проблем машинобуд. ім. А. М. Підгорного. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 454 с. <https://core.ac.uk/download/pdf/162019489.pdf>
13. КОГЕНЕРАЦІЙНІ СИСТЕМИ С ТЕПЛОВИМИ ДВИГУНАМИ Довідковий посібник у 3-х частинах. Клименко В.М., Мазур А.І., Сігал О.І.; за редакцією А.І. Мазура.
14. Iea. Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector. May 2021. 224 p. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf)

15. Дубовський С.В. *Енергоекономічний аналіз сполучених систем генерації електричної енергії і теплоти*. К. Наукова думка. 2014. с. 186.

16. *Енергозбереження. Енергоємність технологічного процесу вироблення електричної та теплової енергії, які відпущені від газопоршневої когенераційної установки. Методика визначення. ДСТУ 8290:2015*. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 35 с.

17. *Енергозбереження. Енергоємність технологічного процесу вироблення електричної та теплової енергії, які відпущені від газотурбінної когенераційної установки. Методика визначення. ДСТУ 8291:2015*. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 35 с.

18. Басок Б.І., Дубовський С.В., Твердохліб А.С. *Енергетична ефективність комбінованого виробництва теплоти і холоду. Доповіді Національної академії наук України*. 2018. №4. с.47-53.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальна дисципліна охоплює 16 годин лекцій, 10 годин практичних занять.

Практичні заняття з дисципліни проводяться з метою закріплення теоретичних положень навчальної дисципліни і набуття аспірантами умінь і досвіду застосовувати на практиці методів аналізу, розрахунку та вдосконалення повітряно-теплового режиму в будівлях та спорудах.

Методи та форми навчання включають лекції та практичні заняття. Застосовуються стратегії активного навчання, які визначаються такими технологіями: візуалізація та інформаційно-комунікаційні технології, зокрема електронні презентації для лекційних занять.

### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	Енергоефективність, поняття та визначення. Стан законодавства України та ЄС в області енергоефективності. Загальне постачання первинної енергії в Україні та у світі. Показник енергоефективності EROEI. Кінцеве енергоспоживання Література [1, 2]
2	Енергоефективність промисловості. Енергетичні стратегії України. Базові показники енергоефективності. Національний план з енергетики та клімату України до 2030 року. «Зелений» курс енергетики ЄС. Сценарії МЕА по розвитку світової енергетики до 2050 року. Література [1, 2, 3]
3	Київський протокол, Паризька угода, Кліматичний пакт Глазго, Монреальський протокол, Куньмін-Монреальська глобальна рамкова програма. Планетарні кордони стійкості розвитку. Література [1]
4	Парокомпресійні теплові насоси. Ідеальний та реальний теплонасосний цикл. Література [2, 3]
5	Парокомпресійні теплові насоси. Ексергетичний аналіз. Комбіноване виробництво теплоти і холоду. Література [2, 3]
6	Робочі тіла парокомпресійного теплового насосу. Двоступеневі теплові насоси.

	<i>Література [2, 3]</i>
7	<i>Теплові насоси на базі діоксиду вуглецю. Транскритичні цикли теплового насосу на CO<sub>2</sub>. Джерела низькопотенційної енергії. Література [2, 3]</i>
8	<i>Абсорбційний тепловий насос. Бромісто-літієвий тепловий насос. Література [2, 3]</i>
9	<i>Перспективи та перешкоди розвитку теплових насосів в світі та в Україні. Література [1]</i>
10	<i>Децентралізація теплозабезпечення кінцевого споживача та підвищення його стійкості в кризових умовах. Повоєнне відновлення енергетичної інфраструктури України. Література [1]</i>
11	<i>Високоєфективні когенераційні технології на основі газопоршневих двигунів. Література [1, 2, 3]</i>
12	<i>Високоенергоефективне теплозабезпечення. Високоенергоефективна когенерація: критерії, підходи і механізми реалізації. Література [1, 2, 3]</i>
13	<i>Високоєфективні когенераційні технології на основі газових турбін. Мікротурбінні когенераційні технології. Література [1, 2, 3]</i>
14	<i>Когенераційні технології на основі промислових та супутніх газів. Література [1, 2, 3]</i>
15	<i>Світові викиди парникових газів. Зростання концентрації CO<sub>2</sub>. Література [1]</i>
16	<i>Причини і механізми потепління клімату. Література [1]</i>
17	<i>Політики запобігання потеплінню клімату, зменшення його негативному впливу та адаптації до нього. Література [1]</i>
18	<i>Декарбонізація світової і регіональної енергетики. Сценарії МЕА. Перспективні енергетичні технології. Література [1]</i>

### **Практичні заняття**

<b>№ з/п</b>	<b>Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)</b>
1	<i>Методика розрахунку теоретичного одноступеневого циклу парокомпресорного теплового насосу з регенеративним теплообмінником. Література [2, 3]</i>
2	<i>Пароелектричні теплові насоси. Розрахунок пароелектричного ТН на діоксиді вуглецю. Література [2, 3]</i>
3	<i>Методика розрахунку теоретичного циклу абсорбційного бромісто-літієвого термотрансформатора. Література [2, 3]</i>
4	<i>Розрахунок економічної ефективності застосування когенераційних технологій у</i>

	системах автономного теплопостачання. Література [1]
5	Розрахунок економічної ефективності застосування когенераційних технологій у системах автономного електропостачання. Література [1]

## 6. Самостійна робота аспіранта

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	100
2	Підготовка до екзамену	24

## Політика та контроль

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

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

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

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

**Поточний контроль:** експрес-опитування, робота на практичних заняттях.

**Календарний контроль:** провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

**Семестровий контроль:** екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 30 балів.

Загальна рейтингова оцінка аспіранта після завершення семестру складається з балів, отриманих за:

- відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- роботу на практичних заняттях;
- написання екзамену.

Робота на лекційних заняттях	Робота на практичних заняттях	Rc	Рекз	R
20	40	60	40	100

1. Рейтинг аспіранта розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них 60 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що аспірант отримує за:

- експрес-контролі на лекційних заняттях;
- роботу на практичних заняттях (5 занять).

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Експрес-контролі на лекційних заняттях оцінюються в 4 бали кожний. Максимальна кількість балів за експрес-контролі – 4 бали \* 5 експрес-контролів = 20 балів.

Експрес-контроль проводиться у вигляді усного опитування аспірантів безпосередньо на лекційному занятті. Необхідно дати відповідь на одне запитання. Правильна відповідь оцінюється в 3 бали.

2.2. Практичне заняття оцінюється в 8 балів:

- активна творча робота – 6-8 балів;
- плідна робота – 3-5 балів;
- пасивна робота – 0-2 бали.

3. Умовою допуску до екзамену є рейтинг не менше 30 балів.

4. На екзамені аспіранти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних запитання (завдання) і одне практичне. Кожне теоретичне запитання (завдання) оцінюється у 10 балів, а практичне у 20 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 9-10; 18-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 7-8; 16-17 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 4-6; 10-15 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

5. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

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)

- за участь в науково-дослідній роботі із виступом на конференції – 10 заохочувальних балів, які додаються до загальної суми, якщо вона менша 100 балів;
- за проект тез по проблематиці дисципліни – 10 заохочувальних балів, за проект наукової статті – 20 балів.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено:**

**Чл.-кор. НАН України, доктор технічних наук, проф. Б.І. Басок**

**Ухвалено** Вченою радою ІТТФ НАН України (протокол № 18 від 19 грудня 2024 р.)