

**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**



СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**ЕНЕРГЕТИЧНА І ЕКСЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ
ТЕРМОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ**

(назва навчальної дисципліни)

підготовки магістрів

(назва освітнього ступеня)

денної форми здобуття освіти

освітньо-професійна програма «Теплоенергетика»

(назва)

спеціалізації / предметної спеціальності _____

(за наявності)

(шифр і назва)

спеціальності 144 «Теплоенергетика»

(шифр, назва спеціальності)

галузі знань 14 «Електрична інженерія»

(шифр і назва)

ВИКЛАДАЧ (-ЧІ): Башлій С.В., канд. техн. наук, доцент, доцент

(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено
на засіданні кафедри електричної інженерії
та кіберфізичних систем

Протокол № 25 від "25" серпня 2025 р.
Завідувач кафедри



Віктор КОВАЛЕНКО
(підпис)(ініціали, прізвище)

Погоджено
Гарант освітньо-професійної програми



Аліна ЄРОФЄЄВА

(підпис)

(ініціали, прізвище)

2025 рік



Енергетична і ексергетична ефективність термодинамічних систем
Зв'язок з викладачем (викладачами): Башлієм Сергієм Вікторовичем
E-mail: bsv.zgia2017@gmail.com
Сезн ЗНУ повідомлення: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=10514>
Телефон: 0662071780
Інші засоби зв'язку: Viber, Skype, Facebook Messenger, WhatsApp, Telegram – за вибором викладача
Кафедра: електричної інженерії та кіберфізичних систем, навчальний корпус № 10, третій поверх, ауд. 306

1. Опис навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни “Енергетична і ексергетична ефективність термодинамічних систем” є надати студентам глибокі теоретичні знання та практичні навички з аналізу, оцінки та оптимізації термодинамічних систем та процесів на основі першого (енергетичного) та другого (ексергетичного) законів термодинаміки для підвищення їхньої ефективності, мінімізації споживання енергії та зниження впливу на навколишнє середовище.

Основні завдання дисципліни оволодіти теоретичними основам понять енергії, ексергії, ентропії, анергії та їхньої ролі в оцінці якості перетворення енергії, засвоїти закони термодинамік, набути навичок енергетичного аналізу, освоїти методологію ексергетичного аналізу, вміти здійснити порівняльний аналіз між енергетичним та ексергетичним підходами, демонструючи переваги ексергетичного методу в ідентифікації реальних джерел неефективності, набути навичок оптимізації, аналізувати енергетичну та ексергетичну ефективність реальних термодинамічних систем (теплоенергетичні установки, холодильні машини, теплові насоси, системи кондиціонування) та вивчити методи їхньої модернізації.

Паспорт навчальної дисципліни

Нормативні показники	Денна форма здобуття освіти
1	2
Статус дисципліни	Вибіркова
Семестр	3 -й
Кількість кредитів ECTS	3
Кількість годин	90
Лекційні заняття	12 год.
Практичні заняття	12 год.
Самостійна робота	66 год.
Консультації	Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, навчальний корпус № 10, третій поверх, ауд. 306, формат проведення - дистанційно
Вид підсумкового семестрового контролю:	залік
Посилання на електронний курс у СЕЗН ЗНУ (платформа Moodle)	https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=10514



2. Методи досягнення запланованих освітньою програмою компетентностей і результатів навчання

Компетентності/ результати навчання	Методи навчання	Форми і методи оцінювання
1	2	3
У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути таких результатів навчання (знання, уміння тощо): знати: - методологію розрахунку енергетичного і ексергетичного ККД; - основні методи енергоаудиту; - методологію проведення енергетичного аудиту; - організації і функціонування системи енергоменеджменту.	Лекційні та семінарські заняття, практичні та лабораторні заняття.	Розрахунки, поточне опитування, тестування, екзамен.
вміти: - робити розрахунки енергетичного і ексергетичного ККД - провести збір необхідних даних та внести їх в розроблену ним форму. - проводити енергетичний аудит обладнання при наявності постійних вимірювачів. - розраховувати чи оцінювати енергоспоживання обладнання при відсутності вимірювачів. - виявити можливості для енергозбереження. - оцінювати запропоновані міри зі збереження енергії. - скласти звіт з проведеного енергетичного аудиту. - аналізувати роботу центрів енергообліку.	Лекційні та семінарські заняття, практичні та лабораторні заняття.	Звіти з практичних робіт, виконання проміжних контрольних робіт.
Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких компетентностей: Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми. Здатність застосовувати релевантні математичні методи для розв'язання складних задач в теплоенергетиці. Здатність управляти робочими процесами та приймати ефективні рішення у сфері теплоенергетики, беручи до уваги соціальні, економічні, комерційні, правові, та екологічні аспекти. Здатність приймати рішення щодо матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетиці з урахуванням їх властивостей та характеристик. Здатність до проведення технічного обстеження інженерних мереж, будівель та споруд.	Лекційні та семінарські заняття, практичні та лабораторні заняття.	Залік



Енергетична і ексергетична ефективність термодинамічних систем

Після вивчення дисципліни передбачається досягнення наступних програмних результатів навчання: ПРО1 Аналізувати, застосовувати та створювати складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до обраного напрямку теплоенергетики. ПРО5 Розробляти і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів теплоенергетики, перевіряти адекватність моделей, порівнювати результати моделювання з іншими даними та оцінювати їх точність і надійність. ПРО6 Приймати ефективні рішення, використовуючи сучасні методи та інструменти порівняння альтернатив, оцінювання ризиків та прогнозування. ПРО8 Обґрунтовувати вибір та застосовування матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів з урахуванням їх характеристик і властивостей, вимог до кінцевого продукту, а також нетехнічних аспектів.	Лекційні та семінарські заняття, практичні та лабораторні заняття.	Залік
---	---	--------------

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Фундаментальні основи ефективності

Енергетична криза та ефективність систем. Місце дисципліни у сучасній енергетиці. Поняття якості енергії. Необхідність ексергетичного аналізу. Термодинамічні закони та енергетичний аналіз. Основи ексергії та Другий закон термодинаміки. Параметри навколишнього середовища та робочі тіла.

Змістовий модуль 2. Методологія ексергетичного аналізу

Ексергетичний баланс та втрати ексергії. Ексергетичний ККД та термодинамічна досконалість. Ексергетичний аналіз теплообмінних процесів. Ексергетичний аналіз процесів змішування та горіння.

Змістовий модуль 3. Практичне застосування та оптимізація систем

Ексергетичний аналіз паросилових (ТЕС) установок. Ексергетична ефективність холодильних установок та теплових насосів. Ексерго-економічний аналіз (Exergoeconomics). Перспективи та методи підвищення ексергетичної ефективності.

4. Структура навчальної дисципліни

Вид заняття /роботи	Назва теми	Кількість годин	Згідно з розкладом
1	2	3	4
Лекція 1	Енергетична криза та ефективність систем. Місце дисципліни у сучасній енергетиці.	1	щотижня
Лекція 2	Поняття якості енергії. Необхідність ексергетичного аналізу.	2	щотижня



Енергетична і ексергетична ефективність термодинамічних систем

Лекція 3	Термодинамічні закони та енергетичний аналіз.	1	щотижня
Лекція 4	Основи ексергії та Другий закон термодинаміки. Параметри навколишнього середовища та робочі тіла.	1	щотижня
Лекція 5	Ексергетичний баланс та втрати ексергії.	1	щотижня
Лекція 6	Ексергетичний ККД та термодинамічна досконалість.	2	щотижня
Лекція 7	Ексергетичний аналіз теплообмінних процесів.	1	щотижня
Лекція 8	Ексергетичний аналіз процесів змішування та горіння.	1	щотижня
Лекція 9	Ексергетичний аналіз паросилових (ТЕС) установок.	1	щотижня
Лекція 10	Ексерго-економічний аналіз (Exergoeconomics). Перспективи та методи підвищення ексергетичної ефективності.	1	щотижня
Практичні заняття 1	Аналіз ефективності теплової системи	2	1 раз на 2 тижні
Практичні заняття 2	Моделювання теплової системи за темою КМР	2	1 раз на 2 тижні
Практичні заняття 3	Складання рівнянь методом теплових балансів	2	1 раз на 2 тижні
Практичні заняття 4	Розрахунок теплових втрат	1	1 раз на 2 тижні
Практичні заняття 5	Ексерго-економічний аналіз за темою КМР	2	1 раз на 2 тижні
Практичні заняття 6	Дослідження отриманих результатів аналізу	2	1 раз на 2 тижні
Практичні заняття 7	Висновки і рекомендації	1	1 раз на 2 тижні



Енергетична і ексергетична ефективність термодинамічних систем

Самостійна робота	- Перший закон термодинаміки та його обмеження (лише кількість, а не якість). Енергетичний баланс та енергетичний ККД. - Другий закон термодинаміки. Поняття ентропії та її зв'язок з незворотністю. Поняття ексергії (доступної корисної роботи) та анергії. - Поняття «мертвого стану» (Dead state). Вплив параметрів навколишнього середовища на значення ексергії. Розрахунок ексергії масового потоку та теплового потоку. - Ексергетичне рівняння балансу для відкритих та закритих систем. Поняття незворотності (втрат ексергії) як міри неефективності. - Визначення та мінімізація втрат ексергії у теплообмінниках. Роль різниці температур та незворотності теплообміну. - Аналіз циклів Ренкіна, Брайтона. Оцінка ефективності турбін, насосів, котлів. Виявлення основних джерел незворотності у теплових електростанціях. - Порівняння ексергетичного ККД та холодоагента (COP). Оптимізація циклів на основі зменшення внутрішньої та зовнішньої незворотності. - Поняття ексергетичної вартості. Об'єднання ексергетичного аналізу з економічним. Визначення вартості втраченої ексергії. - Методи зменшення незворотності: регенерація, когенерація, використання вторинних енергоресурсів, оптимізація конструкції.	66	протягом семестру
-------------------	--	----	-------------------

5. Види і зміст контрольних заходів

Вид заняття/роботи	Вид контрольного заходу	Зміст контрольного заходу*	Критерії оцінювання та термін виконання*	Усього балів
1	2	3	4	5
Поточний контроль				
Практичні заняття №1	Теоретичне завдання	Основи математичного моделювання теплових процесів	Правильна відповідь 1 б	1
	Практичне завдання	Відбір і ранжирування параметрів	Правильна відповідь 1 б	1
Практичні заняття №2	Тест за змістовим модулем	Аналіз теплової системи за темою КМР	Кожна правильна відповідь 1 б	10
	Практичне завдання	Моделювання теплової системи за темою КМР	Вчасне правильне вирішення – 5 б. Невчасне правильне вирішення – 4 б. Вчасне вирішення з помилками – 3 б. Невчасне вирішення з помилками – 1 б.	5

Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. 6Потебні
Силабус навчальної дисципліни



Енергетична і ексергетична ефективність термодинамічних систем

Практичні заняття №3	Теоретичне завдання	Статті теплового балансу	Правильна відповідь 1 б	1
	Практичне завдання	Складання рівнянь методом теплових балансів	Правильна відповідь 1 б	1
Практичні заняття №4	Теоретичне завдання	Аналіз теплових втрат	Правильна відповідь 1 б	1
	Практичне завдання	Результати розрахунку	Правильна відповідь 1 б	1
Практичні заняття №5	Тест за змістовим модулем 5	Ексерго-економічний аналіз за темою КМР	Кожна правильна відповідь 1 б	10
	Практичне завдання	Розрахунок	Правильна відповідь 1 б	1
Практичні заняття №6	Теоретичне завдання	Проведення теор.експерименту	Правильна відповідь 2 б Неповна відповідь 1б	2
	Практична робота	Дослідження отриманих результатів аналізу	Вчасне правильне вирішення – 8 б. Невчасне правильне вирішення – 6 б. Вчасне вирішення з помилками – 4 б. Невчасне вирішення з помилками – 2 б.	8
Практичні заняття №7	Тест за змістовим модулем 7	Статистичний аналіз	Кожна правильна відповідь 1 б	10
	Практична робота	Формування висновків	Правильна відповідь 2 б Неповна відповідь 1б	2
Усього за поточний контроль				60
Підсумковий контроль				
Залік	Тест	16 тестових питань з навчального матеріалу всього курсу (розділ 3).	Кожна правильна відповідь 2 б. Кожна частково правильна відповідь 1 б	32
	Практичне завдання	Розрахунок коефіцієнта перетворення теплового насосу.	Вчасне правильне вирішення – 8 б. Невчасне правильне вирішення – 6 б. Вчасне вирішення з помилками – 4 б. Невчасне вирішення з помилками – 2 б.	8
Усього за підсумковий контроль				40

Шкала оцінювання ЗНУ: національна та ECTS

За шкалою ECTS	За шкалою університету	За національною шкалою	
		Екзамен	Залік
A	90 – 100 (відмінно)	5 (відмінно)	Зараховано

B	85 – 89 (дуже добре)	4 (добре)	
C	75 – 84 (добре)		
D	70 – 74 (задовільно)	3 (задовільно)	
E	60 – 69 (достатньо)		
FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)	Не зараховано
F	1 – 34 (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)		

6. Основні навчальні ресурси

Рекомендована література

Основна:

1. Крючков Є.М. Проектування систем тепlopостачання: навчально-методичний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2010. - 250 с.
2. Крючков, Є.М. Джерела тепlopостачання: Методичні вказівки до лабораторних робіт. Запоріжжя: ЗДІА, 2016. - 47 с.
3. Мурашко В. О., Корж Б. В., Смірнов С. І. Енергоаудит та енергоменеджмент: навч. посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2017.
4. Толочко О. І., Скворцов В. М. Автоматизація та керування енергозберігаючими системами: навч. посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 232 с.

Додаткова:

1. Деркач І.Л. Енергозбереження: навчальний посібник. Львів: НУ "ЛП", 2012.
2. Блажко В. В., Доценко В. П., Пащенко В. В. Тепlopостачання та теплові мережі. Одеса: ОДАБА, 2015.
3. Корж Б. В., Мурашко В. О. Енергозберігаючі технології в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря: навч. посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 236 с.

Інформаційні ресурси:

1. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності). <https://saee.gov.ua/>.
2. Фонд Енергоефективності. <https://eefund.org.ua/>.
3. Асоціація "Енергоефективні міста України" (АЕМУ). <https://enecities.org.ua/>.

7. Регуляції і політики курсу

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РП даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях.

Енергетична і ексергетична ефективність термодинамічних систем

- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях, передбачені РП дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл- диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;
- правила захисту індивідуальних завдань: захист розрахунково-графічної роботи з дисципліни здійснюється індивідуально і лише у випадку, коли студент не погоджується із нарахованими балами за результатами перевірки РГР (за умови дотримання календарного плану виконання РГР);
- правила призначення заохочувальних балів: заохочувальні бали не входять до основної шкали РП, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали. Заохочувальні бали нараховують за участь у факультетських та інститутських олімпіадах з дисципліни, участь у факультетських та інститутських наукових конференціях;
- якщо студент не проходив або не з'явився на залік, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів заліку не передбачено;
- політика щодо академічної доброчесності: Положення Запорізького національного університету встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, у тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц.мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ГРАФІК ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ НА 2025-2026 н.р. доступний за адресою: https://sites.znu.edu.ua/navchalnyj_viddil/1635.ukr.html.

НАВЧАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОСВІТИ. Перевірка набутих студентами знань, навичок та вмінь є невід'ємною складовою системи забезпечення якості освіти і проводиться відповідно до Положення про організацію та методику проведення поточного та підсумкового семестрового контролю навчання студентів ЗНУ <https://lnk.ua/gk4x2wkVy>.

ПОВТОРНЕ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІН. Наявність академічної заборгованості до 6 навчальних дисциплін (у тому числі проходження практики чи виконання курсової роботи) за результатами однієї екзаменаційної сесії є підставою для надання студенту права на повторне вивчення зазначених навчальних дисциплін. Процедура повторного вивчення визначається Положенням про порядок повторного вивчення навчальних дисциплін та повторного навчання у ЗНУ: <https://lnk.ua/9MVwgEpVz>.

ВИРІШЕННЯ КОНФЛІКТІВ. Порядок і процедури врегулювання конфліктів, пов'язаних із корупційними діями, зіткненням інтересів, різними формами дискримінації, сексуальними домаганнями, міжособистісними стосунками та іншими ситуаціями, що можуть виникнути під час навчання, регламентуються Положенням про порядок і процедури вирішення конфліктних ситуацій у ЗНУ: <https://lnk.ua/EYNg6GpVZ>.

Конфліктні ситуації, що виникають у сфері стипендіального забезпечення здобувачів вищої



Енергетична і ексергетична ефективність термодинамічних систем
освіти, вирішуються стипендіальними комісіями факультетів, коледжів та університету в межах їх повноважень, відповідно до: Положення про порядок призначення і виплати академічних стипендій у ЗНУ: <https://lnk.ua/QRVdWGwe3>; Положення про призначення та виплату соціальних стипендій у ЗНУ: <https://lnk.ua/3R4avGqeJ>.

ПСИХОЛОГІЧНА ДОПОМОГА. Телефон довіри практичного психолога **Марті Ірини Вадимівни** (061) 228-15-84, (099) 253-78-73 (щоденно з 9 до 21).

УПОВНОВАЖЕНА ОСОБА З ПИТАНЬ ЗАПОБІГАННЯ ТА ВИЯВЛЕННЯ КОРУПЦІЇ
Запорізького національного університету: **Банах Віктор Аркадійович**
Електронна адреса: v_banakh@znu.edu.ua
Гаряча лінія: тел. (061) 227-12-76, факс 227-12-88

РІВНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ІНКЛЮЗИВНЕ ОСВІТНЄ СЕРЕДОВИЩЕ. Центральні входи усіх навчальних корпусів ЗНУ обладнані пандусами для забезпечення доступу осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення. Допомога для здійснення входу у разі потреби надається черговими охоронцями навчальних корпусів. Спеціалізована допомога: (061) 228-75-11 (начальник охорони). Порядок супроводу (надання допомоги) осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення у ЗНУ: <https://lnk.ua/5pVJr17VP>.

РЕСУРСИ ДЛЯ НАВЧАННЯ

НАУКОВА БІБЛІОТЕКА: <https://library.znu.edu.ua/>. Графік роботи абонементів: понеділок-п'ятниця з 08.00 до 16.00; вихідні дні: субота і неділя.

СИСТЕМА ЕЛЕКТРОННОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАННЯ ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ (СЕЗН ЗНУ): <https://moodle.znu.edu.ua/>.
Посилання для відновлення паролю: <https://moodle.znu.edu.ua/mod/page/view.php?id=133015>.

ЦЕНТР ІНТЕНСИВНОГО ВИВЧЕННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ: <https://sites.znu.edu.ua/child-advance/>.