

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Інженерного навчально-наукового
інституту ЗНУ

(підпис)

Метеленко Н.Г.
(ініціали та прізвище)

» _____ 2021 р.

ПРИКЛАДНІ ПИТАННЯ ТЕПЛОМАСООБМІНУ

(назва навчальної дисципліни)

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

підготовки другий (магістерський)
очної (денної) та заочної (дистанційної) форм здобуття освіти
спеціальності 144 «Теплоенергетика»,
(шифр, назва спеціальності)
освітньо-професійна програма 144 «Теплоенергетика»,

Укладач: Бердишев М.Ю., к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики та
гідроенергетики
(ПБ, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено
на засіданні кафедри _____

Протокол № _____ від "____" _____ 2021 р.
Завідувач кафедри _____
(підпис) А.О. Чейлитко

Ухвалено науково-методичною радою
інституту _____

Протокол № 1 від "26" 08 2021 р.
Голова науково-методичної ради факультету

(підпис) (ініціали, прізвище)

Погоджено
з навчально-методичним відділом

О.В. Микитас
(підпис) (ініціали, прізвище)

2021 рік

1 ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Галузь знань, напрямок підготовки, рівень вищої освіти	Найменування показників	Характеристика навчальної дисципліни	
		очна (денна) форма здобуття освіти	заочна (дистанційна) форма здобуття освіти
Галузь знань 14 Електрична інженерія	Кількість кредитів – 6	Обов'язкова	
		Цикл професійної підготовки освітньої програми	
Спеціальність 144 Теплоенергетика	Змістових модулів – 10	Семестр:	
Освітньо-професійна програма Теплоенергетика		1-й	1-й
		Лекції	
Рівень вищої освіти: магістерський	Загальна кількість годин – 180	30 год.	6 год.
		Практичні	
		20 год.	6 год.
	Лабораторні		
	10 год	6 год	
	Самостійна робота		
Кількість поточних контрольних заходів –20	130 год.	162 год.	
	Вид підсумкового контролю: залік		

2 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою викладання навчальної дисципліни “Прикладні питання тепломасообміну” є засвоєння фундаментальних та прикладних знань з тепломасообміну та набуття навичок і умінь для проведення різноманітних досліджень у теплоенергетиці.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни “Прикладні питання тепломасообміну” є: оволодіння студентами методикою розрахунку температурних полів в одновимірних тілах, складаючи програму на язиці «Turbo Pascal», набуття вмінь розрахунку системи тепlopостачання з використанням теплового насосу, вироблення навичок розрахунку комбінованих геліотеплонасосних систем.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- основні методи вирішення задач теплопровідності
- чисельні методи рішення задач теплопровідності

вміти:

- скласти програму розрахунку одновимірної задачі теплопровідності
- розрахувати тепловий насос
- розрахувати геліотеплонасосну систему теплопостачання та визначити доцільність її використання

Заплановані робочою програмою результати навчання та компетентності	Методи і контрольні заходи, що забезпечують досягнення результатів навчання та компетентностей
1	2
Загальні компетенції	
Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.	Лабораторна робота. Аудиторне опитування.
Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.	Лабораторна робота. Практична робота. Тестовий контроль.
Спеціальні компетенції	
Здатність застосовувати релевантні математичні методи для розв'язання складних задач в теплоенергетиці.	Лабораторна робота. Тестовий контроль.
Здатність управляти робочими процесами та приймати ефективні рішення у сфері теплоенергетики, беручи до уваги соціальні, економічні, комерційні, правові, та екологічні аспекти.	Практична робота. Тестовий контроль
Програмні результати навчання	
ПР01 Аналізувати, застосовувати та створювати складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до обраного напрямку теплоенергетики.	Лабораторна робота. Практична робота.
ПР05 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.	Лабораторна робота. Практична робота.
ПР06 Приймати ефективні рішення, використовуючи сучасні методи та інструменти порівняння альтернатив, оцінювання ризиків та прогнозування.	Практична робота.

Міждисциплінарні зв'язки. Навчальна дисципліна “Прикладні питання тепломасообміну” тематично пов'язана та базується на знаннях, отриманих при вивченні дисциплін «Тепломасообмін», «Технічна термодинаміка», «Економічні та екологічні аспекти енергозбереження», «Низькопотенційні та альтернативні джерела енергії»

Вона є кінцевою дисципліною в названому ланцюгу дисциплін і не потребує подальшого розвитку, тому що в результаті її вивчення студент має всі необхідні знання і навички для проведення названих видів робіт.

3 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Теплова установка як система

Теплова установка, як система. Основи математичного моделювання теплових процесів: постановка завдання, математичне формулювання, відбір і ранжирування параметрів, математичне планування експерименту, вибір матриці планування.

Змістовий модуль 2. Статистична обробка результатів експерименту.

Статистична обробка результатів експериментів і формування математичної моделі – знаходження коефіцієнтів і рівнянь регресії, перевірка їх значущості і адекватності моделі (по критерію Фішера і Стюдента); аналіз отриманих математичних моделей у вигляді рівнянь регресії.

Змістовий модуль 3. Розбір конкретних моделей теплоенергетичних установок

Розбір конкретних моделей теплоенергетичних установок, отримання критерійних рівнянь за розрахунком k_1 і k_2 від плоских, опуклих і увігнутих секцій нагрівача.

Змістовий модуль 4 . Теорія теплових насосів

Теорія теплових насосів. Цикл Карно. Цикл із механічною компресією пари. Реальний цикл. Розрахунок КОП. Класифікація теплових насосів.

Змістовий модуль 5. Використання теплових насосів

Теплові насоси в громадських будинках. Використання теплових насосів у промисловості. Комбінована геліотеплонасосна система теплопостачання. Економічні аспекти використання енергоустановок на базі теплових насосів.

Змістовий модуль 6. Програмний продукт для розрахунку холодильних і тепло насосних циклів CoolPack.

Змістовий модуль 7. Постановка та методи вирішення задач теплопровідності

Класифікація методів моделювання: аналітичні і чисельні методи, їх достоїнства і недоліки.

Аналітичні методи вирішення лінійних завдань теплопровідності.

Змістовий модуль 8. Метод елементарних теплових балансів

Метод елементарних теплових балансів. Отримання розрахункових рівнянь методом теплових балансів.

Змістовий модуль 9. Основні положення методу контрольного об'єму Метод контрольного об'єму. Дискретний аналог стаціонарної задачі теплопровідності.

Змістовий модуль 10. Рішення задач методом контрольного об'єму Нелінійність. Граничні умови. Джерельний член. Нестационарний дискретний аналог.

4 СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль	Усього годин	Аудиторні (контактні) години						Самостійна робота, год		Система накопичення балів		
		Усього годин		Лекційні заняття, год		Практичні /Лабораторні заняття, год		о/д . ф.	з/дис т. ф.	Теор. завня, к-ть балів	Практ. завня, к-ть балів	Усього балів
		о/д . ф.	з/дис т. ф.	о/д . ф.	з/дис т. ф.	о/д . ф.	з/дис т. ф.					
1	15	3		3		0		12	15	1	1	2
2	15	7	6	3	2	4	4	8	9	10	5	15
3	15	4	2	2		2	2	11	13	1	1	2
4	15	9		4	2	5		6	15	1	1	2
5	15	8	3	3	1	5	2	7	12	10	1	11
6	15	13	5	3	1	10	4	2	10	2	8	10
7	15	5		3		2		10	15	10	2	12
8	15	5		3		2		10	15	1	1	2
9	15	3		3				12	15	1	1	2
10	15	3		3				12	15	1	1	2
Усього за змістові модулі	150	60		30		30		90	15			60
Підсумковий семестровий контроль залік	30							30	30			40
Загалом								180				100

5 ТЕМИ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		д.ф.	з.ф.
1	Теплова установка, як система. Основи математичного моделювання теплових процесів	3	
2	Статистична обробка результатів експериментів і формування математичної моделі – знаходження коефіцієнтів і рівнянь регресії,	3	2

	перевірка їх значущості і адекватності моделі		
3	Розбір конкретних моделей теплоенергетичних установок, отримання критеріальних рівнянь за розрахунком k_1 і k_2 від плоских, опуклих і увігнутих секцій нагрівача.	2	
4	Теорія теплових насосів. Цикл Карно. Цикл із механічною компресією пари. Реальний цикл. Розрахунок КОП. Класифікація теплових насосів.	4	2
5	Використання теплових насосів Теплові насоси в громадських будинках. Використання теплових насосів у промисловості. Теплові насоси в громадських будинках. Використання теплових насосів у промисловості	3	1
6	Програмний продукт для розрахунку холодильних и тепло насосних циклів CoolPack. Комбінована геліотеплонасосна система теплопостачання. Економічні аспекти використання енергоустановок на базі теплових насосів.	3	1
7	Постановка та методи вирішення задач теплопровідності. Класифікація методів моделювання: аналітичні і чисельні методи, їх достоїнства і недоліки. Аналітичні методи вирішення лінійних завдань теплопровідності.	3	
8	Метод елементарних теплових балансів. Отримання розрахункових рівнянь методом теплових балансів	3	
9	Основні положення методу контрольного об'єму. Метод контрольного об'єму. Дискретний аналог стаціонарної задачі теплопровідності.	3	
10	Рішення задач методом контрольного об'єму. Нелінійність. Граничні умови. Джерельний член. Нестационарний дискретний аналог.	3	
Разом		30	8

6 ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ/ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		д.ф.	з.ф.
1		0	
2	Обробка результатів експериментів на основі рівняння регресії	4	4
3	Аналіз отриманої моделі	2	2
4	Розрахунок КОП теплового насосу	5	
5	Розрахунок витрати електричної енергії тепловим насосом	5	2
6	Робота в прикладній програмі CoolPack.	10	4
7	Складання рівнянь методом теплових балансів	2	
8	Моделювання одновимірного температурного поля в елементах теплоенергетичного устаткування методом теплових балансів	2	
9			
10			
Разом		30	12

7. ВИДИ І ЗМІСТ ПОТОЧНИХ КОНТРОЛЬНИХ ЗАХОДІВ

№ змістового модуля	Вид поточного контрольного заходу	Зміст поточного контрольного заходу	Критерії оцінювання	Усього балів
1	2	3	4	5
1	Теоретичне завдання	Основи математичного моделювання теплових процесів	Правильна відповідь 1 б	1
	Практичне завдання	Відбір і ранжирування параметрів	Правильна відповідь 1 б	1
Усього за ЗМ 1 контр. заходів	2			2
2	Тест за змістовим модулем 2	10 питань з теорії рівняння регресії	Кожна правильна відповідь 1 б	10
	Практичне завдання	Обробка результатів експериментів на основі рівняння регресії	Вчасне правильне вирішення – 5 б. Невчасне правильне вирішення – 4 б. Вчасне вирішення з помилками – 3 б. Невчасне вирішення з помилками – 1 б.	5
Усього за ЗМ 2 контр. заходів	2			15
3	Теоретичне завдання	Правила аналізу рівняння регресії	Правильна відповідь 1 б	1
	Практичне завдання	Аналіз отриманого рівняння регресії	Правильна відповідь 1 б	1
Усього за ЗМ 3 контр. заходів	2			2
4	Теоретичне завдання	Цикл теплового насосу	Правильна відповідь 1 б	1
	Практичне завдання	Побудування циклу теплового насосу	Правильна відповідь 1 б	1
Усього за ЗМ 4 контр. заходів	2			2
5	Тест за змістовим модулем 5	10 питань з теорії теплового насосу	Кожна правильна відповідь 1 б	10
	Практичне завдання	Розрахунок КОП	Правильна відповідь 1 б	1
Усього за ЗМ 5 контр. заходів	2			11
6	Теоретичне завдання	Джерела енергії для теплового насосу	Правильна відповідь 2 б	2

			Неповна відповідь 1б	
	Практична робота	Робота в прикладній програмі CoolPack.	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 ЗМ 6 контр. заходів	2			10
7	Тест за змістовим модулем 7	10 питань по методу теплових балансів	Кожна правильна відповідь 1 б	10
	Практична робота	Складання балансу внутрішнього слою	Правильна відповідь 2 б Неповна відповідь 1б	2
Усього за ЗМ 7 контр. заходів	2			12
8	Теоретичне завдання	Граничні умови 1-го, 2-го і 3-го родів	Правильна відповідь 1 б	1
	Практичне завдання	Складання балансу граничного слою	Правильна відповідь 1 б	1
Усього за ЗМ 8 контр. заходів	2			2
9	Теоретичне завдання	Основні положення методу контрольного об'єму	Правильна відповідь 1 б	1
	Практичне завдання	Отримання дискретного аналогу	Правильна відповідь 1 б	1
Усього за ЗМ 9 контр. заходів	2			2
10	Теоретичне завдання	Нелінійність. Граничні умови. Джерельний член.	Правильна відповідь 1 б	1
	Практичне завдання	Аналіз отриманого рівняння регресії	Правильна відповідь 1 б	1
Усього за ЗМ 10 контр. заходів	2			2
Усього за змістові модулі контр. заходів	20			60

8. ПІДСУМКОВИЙ СЕМЕСТРОВИЙ КОНТРОЛЬ

Форма	Види підсумкових контрольних заходів	Зміст підсумкового контрольного заходу	Критерії оцінювання	Усього балів
1	2	3	4	5
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 семестровий контроль				40

9 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Бердишев М. Ю., Яковлева І. Г. Навчально-методичний посібник з дисципліни «Прикладні питання тепло масообміну». Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 136 с.
2. Арсеньєв В. М., Мелейчук С. С. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2018. 364 с.
3. Проектування та оптимізація систем тепlopостачання : навч.-метод. посіб. для студентів ЗДІА напряму 144 “Теплоенергетика” ден. і заоч. форми навчання / ЗДІА ; уклад.: А. О. Чейлитко. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 200 с.
4. Чейлитко А. О. Математичне моделювання та оптимізація процесів тепломасообміну : навч.-метод. посіб. для студентів ЗДІА спец. 144 “Теплоенергетика” ден. та заоч. форми навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 146 с.
5. Ільїн С. В., Чейлитко А. О., Мних І. М. Енергоаудит : навч.-метод. посіб. для слухачів курсів підвищ. кваліфікації центру безперерв. освіти. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 130 с.

Додаткова

1. Lear W. E., Sherf S. A., Steadham J. M. Design Considerations of Jet Pumps with Supersonic Two – Phase Flow and Shocks for Refrigeration and 361 Thermal Management Application. *International Journal of Energy Research*. 2000. Vol. 24, P. 1373–1389.
2. Kandil S. M., Lear W. E., Sherif S. A. Analysis of two-phase supersonic flow in jet pumps. *Proceedings of FEDSM 2005 (2005 ASME Fluids*

- Engineering Division Summer Meeting and Exhibition June 19–32).
Houston, TX, USA, 2005. FEDSM 2005-77476.
3. Милованов В. Н. Оптимизация схемных решений холодильных машин на CO₂. *Холод*. 2007. № 5. С. 42–47
 4. Groll E. A. Transcritical CO₂ refrigeration cycle with ejector – expansion device. *International Journal, of Refrigeration*. 2005. Vol. 28. P. 766–773.
 5. Шит Б. М. Расчет двухфазного эжектора для теплового насоса на диоксиде углерода. *ProblemeleEnergeticiiRegionale*. 2010. № 3 (14). P. 62–70.
 6. Bulinski Z., Smolka J., Fic A., Banasiak K., Nowak A. A. Comparison of heterogenous and homogenous models of two-phase transonic compressible CO₂ flow through a heat pump ejector : IOP Conference 362 Series. *Materials Science and Engineering*. 2010. Vol. 10. P. 1–9.
DOI:10.1088/1757-899X (10) 1/012019.
 7. Zhang Z. Titan L. Effect of Suction Nozzle Pressure Drop on the Performance of an Ejector-Expansion Transcritical CO₂ Refrigeration Cycle. *Entropy*. 2014. №16 P. 4309–4321.
 8. Трандафілов В. В., Хмельнюк М. Г., Яковлева О. Ю., Остапенко О. В. Вдосконалення конструкції газової холодильної машини Стірлінга. *Холодильнатехніка та технологія*. 2016. Том 52. Вип. 1. С. 18–22.
 9. Трандафілов В. В., Яковлева О. Ю., Хмельнюк М. Г. Перспективи розвитку газових холодильних машин Стирлінга умеренного холода. *Холодильнатехніка та технологія*. 2015. Том 51. Вип. 3. С. 26–32.

Інформаційні джерела

1. Держенергоефективності <http://saee.gov.ua/uk/business/energetichny-audit-ta-manadzment> (дата звернення: 30.08.2019).
2. Стандарт вищої освіти, другий рівень вищої освіти, спеціальність 144 «Теплоенергетика». Київ : Міністерство освіти і науки України, 2016.
3. Наукова бібліотека НУВГП. URL: <http://lib.nuwm.edu.ua/>
4. Методичні вказівки до практичних занять, контрольних та самостійних робіт з дисципліни «Теплові насоси та їх використання» для магістрів спец. 8.05060101 «Теплоенергетика». URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/2302/>
5. О. О. Рубан-Максимець. Особливості розрахунку показників енергетичної ефективності на базі статистичної звітності України. *Системні дослідження та комплексні проблеми енергетики*. 2009. С. 21-26. URL: <http://www.ienergy.kiev.ua> (дата звернення: 2.04.2021).