



**Тернопільський
національний
технічний університет
імені Івана Пулюя**



**Кафедра
обладнання
харчових
технологій**

Основи теплотехніки

СИЛАБУС

1. Інформація про автора (ів) курсу	
Прізвище, ім'я по батькові	Шинкарик Марія Миколаївна
Науковий ступінь	Кандидат технічних наук
Вчене звання	доцент
Профайл викладача (ів)	
Контактний телефон та час для комунікацій	(0352) 51-97-00-4005; пн., ср., чт. з 13:00 до 16:00
E-mail	maria.shynkaryk@gmail.com

2. Інформація про навчальну дисципліну	
Обсяг дисципліни	5 кредитів ECTS
Мова викладання	Українська
Форма семестрового контролю	Екзамен
Посилання на електронний навчальний курс у СЕН університету ATutor	https://dl.tntu.edu.ua/index.php

3. Освітні програми, для яких дисципліна є обов'язковою:

№	Рівень освіти	Галузь знань	Спеціальність	Освітня програма	Курс	Семес-тр
1	Перший	20	208 Агроінженерія	Агроінженерія	2	4

4. Дисципліна пропонується як обов'язкова для усіх рівнів вищої освіти і усіх освітніх програм.

5. Програма навчальної дисципліни

Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Дисципліна «Основи теплотехніки» викладається з метою оволодіння студентами основних законів перетворення хімічної енергії палива в теплову і механічну, принципи роботи і конструкції машин і апаратів, які беруть участь у цих перетвореннях, основними законами теплообміну для успішної інженерної діяльності за спеціальністю 208 Агроінженерія.

Завдання навчальної дисципліни полягає у розвитку загальних та фахових компетентностей студента.

За результатами вивчення дисципліни студент повинен продемонструвати такі

результати навчання:

РН-7. Розв'язувати складні інженерно-технічні задачі, пов'язані з функціонуванням сільськогосподарської техніки та технологічними процесами виробництва, зберігання, обробки та транспортування сільськогосподарської продукції.

РН-8. Оцінювати та аргументувати значимість отриманих результатів випробувань сільськогосподарської техніки.

РН-11. Виконувати експериментальні дослідження в конкретних умовах використання, здійснювати патентний пошук/

РН -13. Описувати будову та пояснювати принцип дії сільськогосподарської техніки. Вибирати робочі органи машин відповідно до ґрунтово-кліматичних умов та особливостей сільськогосподарських матеріалів.

РН-16. Розуміти принцип дії машин та систем, теплові режими машин та обладнання аграрного виробництва. Визначати параметри режимів роботи гідравлічних систем та теплоенергетичних установок сільськогосподарського призначення.

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів компетентностей:

– загальних:

ЗК-6. Знання та розуміння предметної області та розуміння професії;

ЗК-7. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

ЗК-8. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

– фахових:

ФК-5 Здатність використовувати теоретичні основи та базові методи термодинаміки і гідравліки для визначення і вирішення інженерних завдань.

Місце дисципліни в структурно-логічній схемі навчання за освітньою програмою

Для успішного засвоєння матеріалу необхідні знання з таких дисциплін:

Фізика, Вища математика, Загальна хімія, Вступ до фаху.

Зміст навчальної дисципліни

Лекційні заняття

№	Тема заняття та короткий зміст	Кількість годин
---	--------------------------------	-----------------

		ДФН	ЗФН
1.	Вступ. Структура та мета курсу. Історія розвитку дисципліни. Загальні поняття.	2	0.25
2.	Теорія теплообміну. Теплопровідність. Закон Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності. Диф. ерещійне рівняння теплопровідності, умови однозначності. Теплопровідність плоскої і циліндричної стінок.	2	0.5
3.	Конвективний теплообмін. Закон Ньютона -Ріхмана. Вільна і вимушена конвекція. Теорія подібності теплових явищ. Числа подібності. Критеріальні рівняння конвективного теплообміну.	2	0.5
4.	Променистий теплообмін. Закони променистого теплообміну. Теплообмін між двома плоско -паралельними стінками. Теплообмін між тілами, якщо одне знаходиться в порожнині іншого.	2	0.5
5.	Теплопередача. Рівняння теплопередачі. Теплопередача через плоску і циліндричну стінки. Шляхи інтенсифікації теплопередачі. Основи розрахунку теплообмінних апаратів.	2	0.75
6.	Ідеальні гази і газові суміші. Основне рівняння кінетичної теорії газів. Закон Дальтона для газових сумішей. Основні характеристики газових сумішей: парціальний тиск, парціальний об'єм. Способи завдання складу газових сумішей. Основні параметри газових сумішей.	2	0.5
7.	Перший закон термодинаміки. Внутрішня енергія, робота розширення, ентальпія, ентропія, ексергія. Теплоємність газів і газових сумішей.	2	0.5
8.	Термодинамічні процеси ідеального газу. Ізохорний, ізобарний, ізотермічний, адіабатний і політропний процеси. Взаємозв'язок між термодинамічними параметрами стану та енергетичними характеристиками процесів.	2	0,5
9.	Реальні гази. Властивості водяної пари. P-v, T-s, h-s -діаграми водяної пари. Термодинамічні процеси водяної пари.	2	0.5
10.	Вологе повітря. Термодинамічні властивості вологого повітря. H-d -діаграма вологого повітря. Термодинамічні процеси вологого повітря.	2	0.5
11.	Другий закон термодинаміки. Основні положення другого закону термодинаміки. Прямий і зворотний цикли Карно. Термодинамічний к.к.д. циклу Карно. Властивості оборотних і необоротних циклів. Математичний вираз другого закону термодинаміки. Закон Гюї- Стодоли.	2	1
12.	Перший закон термодинаміки для відкритої термодинамічної системи. Витікання газів і водяної пари. Критична швидкість витікання. Сопло Лавалю. Дроселювання газів і водяної пари.	2	1
13.	Паливо. Процеси горіння. Основні характеристики палива. Характеристики окремих видів палива. Процес горіння палива. Витрати повітря на процес горіння.	2	0.5
14.	Аналіз циклів теплових двигунів. Цикли двигунів внутрішнього згорання з ізобарним, ізохорним і змішаним підведенням теплоти. Порівняння циклів двигунів внутрішнього згорання.	2	0.5

15	Газотурбінні установки. Термодинамічні основи компресора. Котельні установки. Цикли газотурбінних установок.	2	0.5
16	Паросилові установки. Цикл Ренкіна ПСУ. Регенеративний цикл, цикл з вторинним перегріванням пари, теплофікаційний цикл, цикл парогазової установки.	2	0.5
17	Холодильні установки. Цикл повітряної холодильної установки, цикл парової холодильної установки, цикл пароежекторної холодильної установки.	2	0.5
18	Методи термодинамічного аналізу термодинамічних систем. Шляхи економії енергоресурсів у агропромисловому комплексі. Вторинні енергоресурси і відновлювальні джерела теплоти. Розроблення раціональної схеми підприємств.	2	0.5
Усього годин		36	10

Лабораторні заняття

Практичні заняття

№ з/п	Тема заняття	Кількість годин	
		ДФН	ЗФН
1.	Параметри стану ідеального газу	2	1
2	Теплопровідність. Конвективний теплообмін.	2	1
3	Променистий теплообмін. Теплопередача.	2	1
4	Перший закон термодинаміки. Термодинамічні процеси ідеального газу.	2	0,5
5	Водяна пара. Н-s діаграма водяної пари.	2	1
6	Вологе повітря. I-d-діаграма вологого повітря.	2	1
7	Дроселювання і витікання газів і водяної пари.	2	1
8	Термодинамічні цикли теплових двигунів і паросилових установок.	2	0,5
9	Підсумкове заняття	2	1
Усього годин		18	8

Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		ДФН	ЗФН
1	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до практичного заняття №1.	6	10
2	Опрацювання лекційного матеріалу за темами №1, №2. Виконання завдання за темою №1.	8	10
3	Опрацювання лекційного матеріалу за темами №3, №4. Виконання завдання за темою №3	6	10
5	Опрацювання лекційного матеріалу за темами №6, №7, №8.	8	10

	Виконання завдання за темою №4.		
6	Опрацювання лекційного матеріалу за темою №9. Виконання завдання за темою №5.	6	10
7	Опрацювання лекційного матеріалу за темою №10. Виконання завдання за темою №6.	6	10
8	Опрацювання лекційного матеріалу за темами №10,№11. №12. Підготовка до складання контролю за модулем №1.	14	20
9	Підготовка до практичного заняття №6. Опрацювання лекційного матеріалу за темами №13,№14.	8	10
10	Опрацювання лекційного матеріалу за темами №15,№16. Підготовка і виконання завдання за темою №7.	8	10
11	Підготовка до складання контролю за модулем №2	10	12
12	Підготовка до здачі екзамену	16	20
	Разом	96	132

Форма підсумкового семестрового контролю – екзамен

Навчальні матеріали та ресурси

Навчально-методичне забезпечення

1. Конспект опорних лекцій всіх тем курсу.
2. Варіанти завдань для самостійної та індивідуальної роботи студентів.
3. Варіанти модульних контрольних робіт.
4. Варіанти теоретичних питань для самостійного вивчення.
5. Теоретичні питання для екзамену.

Рекомендована література

Базова

1. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка: Підруч. Для студ. Енерг. спец. вищ. навч. Закла. -2-ге вид. випр.-К:Техніка, 2006.320с.
2. Б.Х.Драганов. А.А.Домінський, А.В.Міщенко, Є.М.Письменний (за ред. Б.Х.Драганова). Теплотехніка:Підруч.- Київ: «ІНКОС»2005. 504с.
3. 4.Гнатишин Я.М. , Кришталович В.І. Теплотехніка: навч.посіб. Київ: Знання, 2008.364с
4. . Константінов С.М. Теплообмін: Підруч. - Київ: ВПІ ВПК "Політехніка": Інрес, 2005. 304 с.
- 5.Константінов С.М. Технічна термодинаміка: Підруч. Київ: Політехніка, 2001. 368с
- 6.Шинкарик М.М. Теоретичні основи теплотехніки. Курс лекцій. Тернопіль, вид. ТНТУ ім І.Пулюя,2012, -144 с.

Допоміжна

1. Буляндра О.Ф. Збірник задач з технічної термодинаміки.(термодинаміка закритих систем): Навч. посіб. Київ:НУХТ,2011.231с.

2.Константінов С.М. Збірник задач з технічної термодинаміки» – К.: Політехніка, 2002 – 380с.

3.Андреев Л.П., Костенко Г.М. та інш. Задачник з основ теплотехніки. Київ: Техніка, 1967,-343 с.

4.Костенко Г.М., Козак Н.Б. та інш. Задачник з теоретичних основ теплотехніки., Київ: Техніка, 1961,-343 с

7.Інформаційні ресурси

<http://dl.tntu.edu.ua/bounce.php?course=ID 5925>

6. Політика та контроль навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Політика навчальної дисципліни

Система вимог, які ставляться перед студентом під час вивчення дисципліни:

- проходження студентами етапів модульного контролю у встановлені терміни;
- захист практичних робіт відповідно до графіків захисту;
- надання електронного варіанту практичних робіт для перевірки не пізніше, ніж за два робочих дні до дати їх захисту;
- дотримання студентами правил внутрішнього розпорядку університету.

Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

Дисципліна «Основи теплотехніки» передбачає два модульні контролю у вигляді тестового опитування.

Питома вага кожного із видів опитування та захисту робіт наведено у таблиці «Критерії оцінювання результатів навчання студентів».

Критерії оцінювання результатів навчання студентів

Модуль 1			Модуль 2			Підсумковий контроль		Разом з дисципліни
Аудиторна та самостійна робота			Аудиторна та самостійна робота					
Теоретичний курс (тестування)	Практична робота		Теоретичний курс (тестування)	Практична робота				
25	15		20	15		25		100
№ лекцій	Вид робіт	Бал	№ лекцій	Вид робіт	Бал	Теоретичний курс	10	
Лекція 1			Лекція №13			Практичне завдання	15	
Лекція№2	Прак. зан№1	2		Прак. зан №7	5			
Лекція№3			Лекція №14					
Лекція№4	Прак. зан№2	3		Прак. зан №8	5			
Лекція №5			Лекція №15					
Лекція№6	Прак. зан№3	3		Прак. зан №9	5			
Лекція№7			Лекція №16					

Лекція №8	Прак. зан №4	2	Лекція №17					
Лекція №9			Лекція №18					
Лекція №10	Прак. зан №5	2						
Лекція №11								
Лекція №12	Прак. зан №6	3						

Примітка:

- для того, щоб модуль був зарахований потрібно дати 60 % правильних відповідей від загальної кількості;
- екзаменаційний білет включає 2 теоретичних питання і одне практичне завдання. За вичерпну відповідь на кожне з теоретичних питань, студент отримує 7 балів. За виконання практичного завдання – 11 балів;

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Шкала оцінок		
ВНЗ (100-бальна)	Національна (4-бальна)	ECTS
90-100	Відмінно	A
82-89	Добре	B
75-81		C
67-74	Задовільно	D
60-66		E
35-59	Незадовільно	FX
1-34		F

7.Додаткова інформація

Перелік теоретичних питань, що виносяться на семестровий контроль:

- 1.Основні положення термодинаміки. Термодинамічна система. Робоче тіло. Параметри стану.
- 2.Температура. Прилади для вимірювання температури. Стандартні термодинамічні умови.
- 3.Ідеальний газ. Рівняння стану ідеального газу.

- 4.Перший закон термодинаміки. Ентальпія. Ентропія. Ексергія.
- 5.Внутрішня енергія газу, як функція температури. Робота ідеального газу.
- 6.Газові суміші. Способи завдання складу газових сумішей.
- 7.Закон Дальтона для газової суміші ідеального газу.
- 8.Теплоємність газу і газової суміші.
9. Ізохорний процес ідеального газу.
- 10.Ізобарний процес ідеального газу. Рівняння Майера
- 11.Ізотермічний процес ідеального газу
- 12.Адіабатний процес ідеального газу.
- 13.Політропний процес ідеального газу
- 14.Властивості реальних газів. P-t діаграма реального газу(водяної пари).
- 15.Параметри стану водяної пари. Зображення процесу пароутворення в p-v і T-s і h-s координатах.
- 16.Властивості і основні характеристики вологої насиченої пари.
- 17.Термодинамічні процеси водяної пари. Зображення процесів у p-v і T-s і h-s координатах.
- 18.Властивості вологого повітря. Абсолютна і відносна вологість. Вологовміст. Парціальний тиск водяної пари.
- 19.Термодинамічні властивості вологого повітря. H-d діаграма вологого повітря.
- 20.Другий закон термодинаміки.
- 21.Ентропія і роботоздатність системи. Закон Гюї-Стодоли.
- 22.Прямий і зворотний цикл Карно. Термічний і холодильний ККД циклів.
- 23.Властивості оборотних і необоротних циклів. Математичний вираз другого закону термодинаміки.
24. Зміна ентропії у необоротних процесах. Закон Гюї – Стодоли.
25. Перший закон термодинаміки для відкритої термодинамічної системи.
26. Витікання газів із коротких каналів . Критична швидкість витікання.
- 27.Витікання газів. Сопло Лавалю.
28. Витікання водяної пари. Дійсний процес витікання.
- 29.Дроселювання газу і пари. Ефект Джоуля – Томсона.
- 30.Основні характеристики палива.
31. Характеристики окремих видів палива.
- 32.Горіння палива.Витрати повітря на процес горіння.
- 33.Основні елементи котельного агрегату.

34. Термодинамічні основи поршневого компресора.
35. Теплові двигуни. Показники ефективності теплових двигунів.
36. Цикл двигуна з внутрішнього згорання з підведенням теплоти з підведенням теплоти по ізобарі.
36. Цикл двигуна з внутрішнього згорання з підведенням теплоти з підведенням теплоти по ізохорі.
37. Цикл Ренкіна ПСУ.
38. ККД циклу Ренкіна ПСУ і методи його підвищення
39. Цикл ПСУ з вторинним перегрівом пари.
40. Теплофікаційний цикл ПСУ.
41. Теоретичні цикли холодильних машин.
42. Цикл теплового насосу.
43. Теплопровідність, Закон Фур'є.
44. Коефіцієнт теплопровідності
45. Температурне поле і температурний градієнт.
46. Диференціальне рівняння теплопровідності.
47. Умови однозначності диференційного рівняння теплопровідності
48. Теплопровідність плоскої стінки.
49. Теплопровідність циліндричної стінки.
50. Конвективний теплообмін. Закон Ньютона – Ріхмана.
51. Вільна і вимушена конвекція. Критерії і критеріальні рівняння.
52. Теореми подібності фізичних явищ .
53. Теплопередача. Коефіцієнт теплопередачі через плоску стінку.
54. Теплопередача через циліндричну стінку Критичний діаметр теплопередачі.
55. Шляхи інтенсифікації теплопередачі.
56. Променистий теплообмін. Основні закони променистого теплообміну.
57. Променистий теплообмін між двома тілами, розділеними прозорим середовищем.
58. Променистий теплообмін між двома тілами якщо одне з них знаходиться в порожнині іншого.
59. Вторинні і відновлювальні джерела теплоти.
60. Методи термодинамічного аналізу технологічних процесів.
61. Шляхи економії енергоресурсів у технологічних процесах.

Приклади розв'язування типових задач з курсу .

Задача 1

Труба електричного нагрівача довжиною 1 м і зовнішнім діаметром $d = 25$ мм обдувається поперечним потоком повітря з температурою $t_n = 20^\circ\text{C}$ і швидкістю $\omega = 5$ м/с. Температура поверхні труби підтримується постійною і рівною $t_c = 100^\circ\text{C}$. Ступінь чорноти труби $\varepsilon_c = 0,054$.

Визначити значення середнього коефіцієнта тепловіддачі і тепловий потік, який віддається трубою в повітря.

Розв'язок. З таблиці «Теплофізичні коефіцієнти сухого повітря» (додаток №3) вибираємо параметри повітря при температурі $t_n = 20^\circ\text{C}$: $\lambda_n = 2,6 \cdot 10^{-2}$ Вт/м \cdot °C, $\nu_n = 15,06 \cdot 10^{-6}$ м 2 /с.

Коефіцієнт тепловіддачі горизонтальної труби можна визначити за формулою:

$$\text{Nu} = \alpha d / \lambda, \text{ звідки } \alpha = \text{Nu}_n \lambda_n / d \quad (6.1.)$$

Відомо, що для повітря $\text{Nu}_n = 0,49 \text{Re}_n^{0,5}$ при $\text{Re}_n < 1000$ та $\text{Nu}_n = 0,245 \text{Re}_n^{0,6}$ при $\text{Re}_n > 1000$ [8].

Визначимо критерій Рейнольдса для нашого випадку:

$$\text{Re}_n = \omega \cdot d / \nu_n = 5 \cdot 0,025 / 15,06 \cdot 10^{-6} = 8,3 \cdot 10^3$$

Отже:

$$\alpha = \text{Nu}_n \lambda_n / d = 0,245 \text{Re}_n^{0,6} \cdot \lambda_n / d, \\ \alpha = 0,245 \cdot (8,3 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 2,6 \cdot 10^{-2} / 0,025 = 57,23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Тепловий потік:

$$Q = Q_{\text{п}} + Q_{\text{к}} = \varepsilon_{\text{п}} \cdot C_0 \cdot F \cdot ((T_c/100)^4 - (T_n/100)^4) + \alpha \cdot F \cdot (t_c - t_{\text{нов}}), \\ Q = 0,054 \cdot 5,67 \cdot 0,079 \cdot ((373/100)^4 - (293/100)^4) + 57,23 \cdot 0,079 \cdot 80 = 364,6 \text{ Дж.}$$

де $F = \pi \cdot d \cdot l = 3,14 \cdot 0,025 \cdot 1 = 0,079$ м 2 – площа поверхні труби;

$\varepsilon_{\text{п}} = \varepsilon_0 \cdot 1,2 = 0,045 \cdot 1,2 = 0,054$ – степінь чорноти поверхні;

$C_0 = 5,67$ Вт/м $^2 \cdot$ °C – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла.

Задача 2

Стальна труба маслоохолоджувача довжиною $L = 2$ м, внутрішнім діаметром $d_1 = 32$ мм, зовнішнім $d_2 = 36$ мм і коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_1 = 50$ Вт/(м \cdot К) покрита ззовні шаром шламу товщиною $\delta_o = 4$ мм., коефіцієнт теплопровідності якого $\lambda_2 = 0,29$ Вт/(м \cdot К). Температура масла $t_{p1} = 100^\circ\text{C}$, температура рідини $t_{p2} = 20^\circ\text{C}$. Коефіцієнт тепловіддачі від масла до поверхні шламу $\alpha_1 = 150$ Вт/м $^2 \cdot$ °C, а від поверхні труби до рідини $\alpha_2 = 2000$ Вт/м $^2 \cdot$ °C.

Визначити коефіцієнт теплопередачі від масла до рідини та кількість відведеної теплоти.

Розв'язок. Коефіцієнт теплопередачі через двохшарову циліндричну стінку визначається за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}}{d_1} + \frac{\frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_3}}$$

де

$$d_3 = d_2 + 2 \delta_o = 36 + 2 \cdot 4 = 44 \text{ мм.}$$

Отже, підставивши дані у формулу, отримаємо:

$$k = \frac{1}{\dots} = 1,39 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{C.}$$

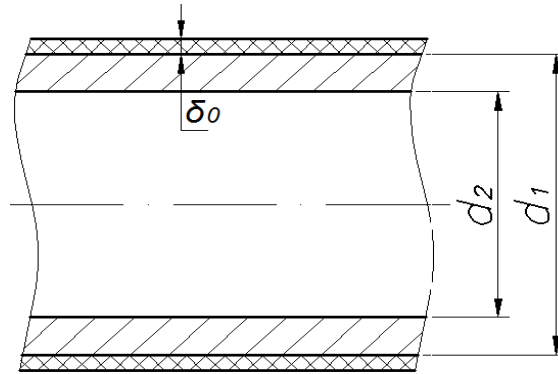


Рисунок 5.1. – Схема процесу теплопередачі.

Кількість відведена теплоти визначимо із формули:

$$Q = kF\Delta t$$

де F – площа зовнішньої поверхні труби, $F = \pi d_2 L = 3,14 \cdot 0,044 \cdot 2 = 0,28 \text{ м}^2$.

Тоді кількість теплоти буде становити:

$$Q = 1,39 \cdot 0,28(100 - 20) = 31,1 \text{ Дж.}$$

Задача 3

Визначити наскільки відсотків зменшаться втрати теплоти через 1 м^2 цегляної стіни сільськогосподарської будівлі товщиною $0,5 \text{ м}$ якщо її із зовні покрити шаром пінопласту товщиною 50 мм . Зовнішня температура повітря $t_3 = -20^\circ\text{C}$; внутрішня температура повітря $t_в = 23^\circ\text{C}$. Коефіцієнт теплопровідності цегли $\lambda_{ц} = 0,6 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до внутрішньої поверхні стіни $\alpha_в = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$. Коефіцієнт тепловіддачі від пінопласту до повітря $\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$.

Коефіцієнт теплопровідності пінопласту $\lambda_{п} = 0,033 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ (із додатку ___)

Визначимо термічні опори стіни та ізоляції за формулою:

$$R = \delta/\lambda \quad (1)$$

Отже:

$$R_{ст} = \delta_{ст}/\lambda_{ц} = 0,5/0,6 = 0,83 \text{ К}/(\text{Вт}\cdot\text{м}^2); \quad (2)$$

$$R_{п} = \delta_{п}/\lambda_{п} = 0,05/0,033 = 1,51 \text{ К}/(\text{Вт}\cdot\text{м}^2). \quad (3)$$

Питомий тепловий потік через стіну:

$$q_1 = \frac{t_в - t_3}{\frac{1}{\alpha_в} + R_{ст} + \frac{1}{\alpha_3}} = \frac{23 - (-20)}{\frac{1}{8,7} + 0,83 + \frac{1}{23}} = 43,5 \text{ Вт}/\text{м}^2. \quad (4)$$

Питомий тепловий потік через стіну із шаром пінопласту:

$$q_2 = \frac{t_в - t_3}{\frac{1}{\alpha_в} + R_{ст} + R_{п} + \frac{1}{\alpha_3}} = \frac{23 - (-20)}{\frac{1}{8,7} + 0,83 + 1,51 + \frac{1}{23}} = 17,2 \text{ Вт}/\text{м}^2. \quad (5)$$

$$\Delta = \frac{q_1 - q_2}{q_1} 100\% = \frac{43,5 - 17,2}{43,5} 100\% = 60,5\%.$$

Задача 4

Визначити необхідну кількість повітря для сушіння умовного матеріалу масою $m = 100 \text{ кг}$. Початкова вологість матеріалу 45% , кінцева 30% . Також необхідно визначити витрати теплоти для нагрівання повітря, яке використовується для сушіння, від $t_1 = 20$ до

$t_2=90^\circ\text{C}$ при початковій відносній вологості $\varphi = 70\%$. Відомо, що температура відпрацьованого повітря становить $t_3=40^\circ\text{C}$.

Для розв'язання задачі використовуємо Н-d . Першу точку знаходимо на перетині ліній $\varphi = 70\%$ і $t_1=20^\circ\text{C}$. Оскільки процес нагрівання проходить при постійному вологовмісті проводимо лінію вертикально вгору до перетину з лінією $t_2=90^\circ\text{C}$. Знаходимо значення ентальпії у цих точках.

Затрати теплоти на нагрівання 1 кг. повітря:

$$H_2 - H_1 = 120 - 42 = 78 \text{ кДж/кг}$$

Ідеальний процес сушіння проходить при постійній ентальпії до перетину з лінією $t_3=40^\circ\text{C}$ – температура повітря на виході із сушарки.

За діаграмою визначаємо вологовміст у точках 1 і 3.

Маса води, яку необхідно видалити з матеріалу:

$$m_b = m_M (0,45 - 0,3) = 15 \text{ кг}$$

Необхідна маса повітря:

$$m_{\text{п}} = m_b / (d_2 - d_1) = 15 / (0,032 - 0,01) = 682 \text{ кг}$$

Необхідний об'єм повітря:

$$V_{\text{п}} = m_{\text{п}} / \rho_{\text{п}} = 682 / 1,2 = 568 \text{ м}^3$$

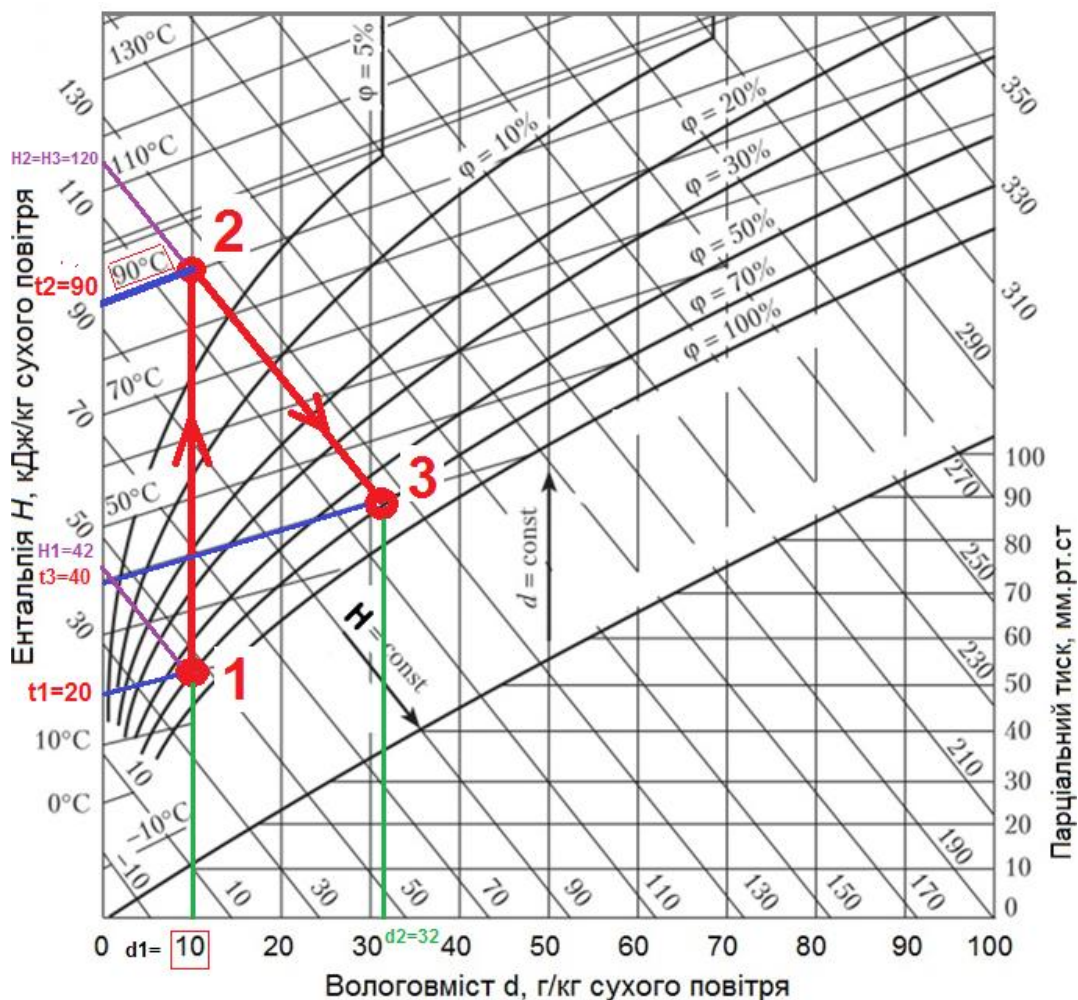


Рисунок . Приклад використання Н-d діаграми в розрахунку процесу сушіння

Приклади екзаменаційного білету.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № А.

1. Перший закон термодинаміки. Ентальпія.
2. Умови однозначності диференційного рівняння теплопровідності.
3. Зовнішнє повітря, яке має температуру 25°C , барометричний тиск $0,1\text{Мпа}$ і вологовміст $d=8\text{г/кг}$, підігрівається в калорифері до температури 45°C . Визначити відносну вологість повітря в кінці процесу підігріву і кількість підведеної теплоти.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № Б

1. Ізохорний процес ідеального газу.
2. Теплообмінні апарати. Основи розрахунку.
3. Визначити поверхню нагріву рекуперативного теплообмінника при протитечійній схемі руху теплоносіїв, якщо об'ємний розхід повітря при нормальних умовах $V_H = 2 * 10^3 \text{ м}^3 / \text{год.}$, середній кількості теплопередачі $k = 18 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ К}$, початкові і кінцеві температури продуктів згоряння і повітря відповідно $t'_1 = 600^{\circ}\text{C}$, $t''_1 = 400^{\circ}\text{C}$, $t'_2 = 20^{\circ}\text{C}$, $t''_2 = 300^{\circ}\text{C}$.

<http://www.ndipvt.com.ua/archivejournal.html>
<http://agroua.net/mashine/catalog/>
<http://www.nbu.gov.ua/>
<https://library.te.ua/>
<http://www.twirpx.com>
<https://library.tntu.edu.ua/>

Курс дистанційного навчання «
»
<https://dl.tntu.edu.ua/index.php>
<http://tntu.edu.ua/>