МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра теплотехніки

Т7525

ЗАТВЕРДЖЕНО

Заступник директора ХННІ НУК
з навчальної роботи
к.т.н., професор
_____ О.М. Дудченко

"___"_____ 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

ТЕПЛОМАСООБМІН

Heat and Mass Exchange

рівень вищої освіти	*перший* (*бакалаврський*)
тип дисципліни	*обов'язкова*
мова викладання	*українська*

Херсон – 2023

Робоча програма навчальної дисципліни «Тепломасообмін», яка є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальності 144 «Теплоенергетика» освітньої програми «Теплоенергетика».

« 26 » 10 2023 року – 74 с.

Розробник: Димо Борис Васильович, канд. техн. наук, професор кафедри технічної теплофізики та суднових паровиробних установок (ТТ і СПУ).

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Тепломасообмін» *узгоджено з гарантом освітньої програми* «Теплоенергетика»

к.т.н., доцент _____ / Корнієнко В.С./

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Тепломасообмін» *розглянуто на засіданні кафедри теплотехніки*

Протокол № 04 від “ 14 ” 11 2023 року.

Завідувачка кафедри теплотехніки _____ /Кобалава Г.О./

Робоча програма навчальної дисципліни «Тепломасообмін» *затверджена методичною радою ХННІ НУК*

Протокол № 04 від “ 16 ” 11 2023 року.

Голова _____ /Дудченко О.М./

© Димо Б.В., 2023 рік

© ХННІ НУК, 2023 рік

ЗМІСТ

Вступ ..……..……... 4

1. Опис навчальної дисципліни ……..…….. 5

2. Мета вивчення навчальної дисципліни …… 6

3. Передумови для вивчення дисципліни……. 6

4. Очікувані результати навчання……..…… 6

5. Програма навчальної дисципліни ……..……... 7

5.1. Тематичний план навчальної дисципліни …… 11

5.2. Теми лабораторних робіт …….. 12

5.3. Теми практичних занять …… 13

5.4. Самостійна робота …….. 15

5.5. Контрольна робота ……. 16

6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування ....……....…….. 17

7. Форми поточного та підсумкового контролів …… 17

8. Критерії оцінювання результатів навчання ……..…..…. 21

9. Засоби навчання ……...……...… 22

10. Рекомендовані джерела інформації …….. 23

Додаток 1. Теми самостійної роботи ……..... 26

Додаток 2. Питання до модульного контролю …… 28

Додаток 3. Тестові завдання поточного модульного контролю . 32

Додаток 4. Результати перегляду робочої програми навчальної дисципліни «Тепломасообмін»……..... 73

ВСТУП

Анотація

Розвиток науки і техніки, постійне удосконалення стаціонарних та транспортних теплоенергетичних установок вимагають високої кваліфікації фахівців, що проектують, будують та експлуатують ці установки. Все це неможливо без базових знань фізичних процесів, що відбуваються у теплоенергетичних установках.

Курс «Тепломасообмін» є складовою цієї підготовки і є обов'язковою дисципліною підготовки бакалаврів відповідно до освітньої програми «Теплоенергетика» підготовки фахівців галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальності 144 «Теплоенергетика».

Курс передбачає вивчення основ теорії тепломасообміну як сукупності процесів, що відбуваються у теплоенергетичних установках, зокрема закони та кількість співвідношення перенесення теплоти теплопровідністю, конвекцією, випромінюванням, при фазових перетвореннях теплоносіїв та процеси та розрахунки теплообмінних апаратів.

***Ключові слова*:** тепломасообмін, теплопередача, теплопровідність, конвекція, випромінювання, кипіння, конденсація, теплообмінний апарат.

Annotation

The development of science and technology, the constant improvement of stationary and transport thermal power plants require highly qualified specialists who design, build and operate these plants. All this is impossible without a basic knowledge of the physical processes occurring in thermal power plants.

The course "Heat and Mass Transfer" is a component of this training and is a mandatory discipline for bachelors in accordance with the educational-professional program "Heat and Power Engineering" specialty 144 "Heat and Power Engineering", in the field of knowledge 14 "Electrical Engineering".

The course involves studying the basics of the theory of heat and mass transfer as a set of processes occurring in thermal power plants, including the laws and the amount of heat transfer by convection, convection, radiation, phase transformations and processes and calculations of heat exchangers.

Key words: heat and mass transfer, heat transfer, thermal conductivity, radiation, boiling, condensation, heat exchanger.

1. Опис навчальної дисципліни

Основні характеристики навчальної дисципліни «Тепломасообмін» наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – **Основні характеристики навчальної дисципліни**

<table>
<tr><th rowspan="2">Найменування показників</th><th rowspan="2">Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній рівень</th><th colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</th></tr>
<tr><th>денна форма навчання</th><th>заочна форма навчання</th></tr>
<tr><td>Кількість кредитів – 7</td><td>Галузь знань
14 «Електрична інженерія»</td><td colspan="2" rowspan="2">Обов’язкові компоненти освітньої програми

Цикл професійної підготовки</td></tr>
<tr><td>Модулів – 1</td><td>Спеціальність
144 «Теплоенергетика»</td></tr>
<tr><td>Змістових модулів – 3</td><td rowspan="9">Освітня програма
«Теплоенергетика»</td><td colspan="2">Рік підготовки</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Електронний адрес РПНД на сайті Університету: http://kb.nuos.edu.ua/Licensing%20and%20accreditation%20specialties/tehermal-power-b.html</td><td>2-й*, 3-й</td><td>2-й*, 3-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>3-й*, 5-й</td><td>3-й*, 5-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td>45 годин</td><td>8 годин</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні роботи</td></tr>
<tr><td>15 годин</td><td>4 години</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні заняття</td></tr>
<tr><td>30 годин</td><td>4 години</td></tr>
<tr><td>Загальна кількість годин – 210</td><td rowspan="6">Рівень вищої освіти:
перший
(бакалаврський)</td><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Тижневих годин для денної форми навчання:
аудиторних – 6;
самостійної роботи ЗВО – 8</td><td>120 годин</td><td>194 годин</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вид контролю</td></tr>
<tr><td>ПМК, екзамен</td><td>контрольна робота, екзамен</td></tr>
<tr><td colspan="2">Форма контролю</td></tr>
<tr><td colspan="2">комбінована
(усний контроль, тестування, письмовий контроль)</td></tr>
</table>

Примітка:

* – для ЗВО, що навчаються за скороченим терміном навчання (вступ на основі ОКР «фаховий молодший бакалавр» і ОКР «молодший спеціаліст»)

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни «Тепломасообмін» є формування у ЗВО згідно зі Стандартом вищої освіти України, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України № 372 від 04.03.2020 р., та освітньо-професійною програмою, та освітньої програмами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти «Теплоенергетика» таких компетентностей.

Інтегральна компетентність – **ІК-1.** Здатність розв'язувати складні загальні, спеціалізовані задачі та практичні проблеми у сфері теплоенергетики та/або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів електричної інженерії, і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

ЗК 3. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;

ЗК 6. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;

ЗК 9. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

Спеціальні компетентності:

ФК 4. Здатність виявляти, класифікувати і оцінювати ефективність систем і компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання в теплоенергетичній галузі.

Завдання вивчення дисципліни – формування знань про процеси передачі теплоти в твердих тілах та у потоках газу та рідини, про процеси масообміну у двофазових середовищах та про принципи розрахунків переносу теплоти в елементах теплоенергетичних установок.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумовами для вивчення даної дисципліни є дисципліни: «Вища математика», «Фізика», «Хімія» та «Технічна термодинаміка».

4. Очікувані результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у ЗВО таких результатів навчання:

ПР 1. Знати і розуміти математику, фізику, тепломасообмін, технічну термодинаміку, гідрогазодинаміку, трансформацію (перетворення) енергії, технічну механіку, конструкційні матеріали, системи автоматизованого проектування в теплотехніці, на рівні необхідному для досягнення результатів освітньої програми;

ПР 5. Обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень;

ПР 14. Мати навички розв'язання складних задач і практичних проблем, що передбачають реалізацію інженерних проектів і проведення досліджень відповідно до спеціалізації.

5. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1. **Теплопровідність**

Тема 1. Фізичні основи теплообміну. Стаціонарна теплопровідність

Лекція 1. Вступ до курсу тепломасообміну. Метод та предмет тепломасообміну. Значення та зміст дисципліни. Етапи розвитку та зв'язок з суміжними дисциплінами. Способи перенесення теплоти.

Література: [1] с. 9–13; [6] с. 5–8.

Лекція 2. Фізичний опис теплопровідності. Теплота, тепловий потік, температурне поле, градієнт температур. Закон Фур'є, коефіцієнт теплопровідності. Диференціальне рівняння процесу теплопровідності та крайові умови.

Література: [1] с. 13–29, [12] с. 105–109.

Лекція 3. Стаціонарна теплопровідність крізь стінки одно- та багатослойні. Температурне поле плоскої, циліндричної та сферичної стінок. Термічний опір теплопровідності стінок.

Література: [1] с. 29–37; [6] с. 8–10.

Тема 2. Стаціонарна теплопередача плоских, циліндричних та сферичних стінок. Методи інтенсифікації теплопередачі

Лекція 4. Стаціонарна теплопередача. Плоскі, циліндричні та сферичні стінки. Коефіцієнт теплопередачі та термічний опір теплопередачі. Рівняння теплопередачі. Теплова ізоляція, вибір матеріалу ізоляції.

Література: [1] с. 34–44; [6] с. 19–29.

Лекція 5. Інтенсифікація теплопередачі методами підвищення коефіцієнтів тепловіддачі та збільшення поверхні теплопередачі. Оребрення поверхні. Теплопровідність плоского ребра. Ефективність ребра. Коефіцієнт оребрення. Теплопровідність круглого ребра.

Література: [1] с. 45–54.

Лекція 6. Теплопередача оребрених стінок. Види оребрених стінок. Розрахунки теплопередачі оребрених стінок. Теплопровідність та теплопередача при наявності внутрішніх джерел теплоти.

Література: [1] с. 58–66; [6] с. 29–40.

Тема 3. Нестаціонарна теплопровідність

Лекція 7. Нестаціонарна теплопровідність (НСТ). Значення перехідних теплових процесів в енергетиці. Види НСТ та аналітична постановка задачі. Аналітичні рішення для плоских та циліндричних стінок (симетрична теплова задача). Аналіз рішення, критерії теплової подібності для процесів НСТ. Визначення теплоти, що підводиться до тіл необмежених кінцевих розмірів. НСТ у тілах обмежених кінцевих розмірів.

Література: [1] с. 66–68; [6] с. 66–78.

Лекція 8. Регулярний тепловий процес. Регулярний тепловий режим та його математичний опис. Темп охолодження. Теореми Кондрат'єва. Застосування теорії регулярного режиму до визначення коефіцієнтів тепловіддачі та теплофізичних властивостей. Методи рішення задач теплопровідності.

Література: [8] с. 28–36.

Змістовий модуль 2. **Конвективний теплообмін**

Тема 4. Фізичний та математичний опис конвективного теплообміну

Лекція 9. Конвекція теплоти. Фізичний опис процесу. Фактори, що впливають на конвекцію. Види конвекції. Система диференціальних рівнянь конвективного теплообміну енергії, руху (Нав'є-Стокса), суцільності та тепловіддачі. Крайові умови.

Література: [1] с. 37–53, [12] с. 115–119.

Лекція 10..Основні положення теорії теплової подібності. Умови та теореми теплової подібності. Числа подібності, методи їх отримання та фізичний зміст. Узагальнення дослідних даних на основі теорії подібності. Методи експериментального визначення та осереднення коефіцієнтів тепловіддачі. Одержання рівнянь

подібності. Теплове моделювання та методи аналогів процесів. Сучасні прикладні пакети CFD-моделювання, процесів конвективного теплообміну.

Література: [1] с. 53–63; [11] с. 50–57; [12] с. 119–126.

Тема 5. Вільна конвекція теплоти

Лекція 11. Вільна конвекція. Основні фактори, що впливають. Характер руху рідини. Аналітична постановка задачі та їх рішення. Критеріальні рівняння для розрахунку тепловіддачі при вільній конвекції на стінках та горизонтальних трубах. Вільна конвекція в прошарках. Еквівалентна теплопровідність, критеріальні рівняння вільної конвекції в прошарках.

Література: [1] с. 63–70; [8] с. 36-40, 49-59.

Тема 6. Вимушена конвекція. Задачі зовнішнього та внутрішнього обтікання

Лекція 12. Вимушена конвекція при повздовжньому обтіканні стінок. Гідродинамічний та тепловий граничні шари. Режими руху. Інтегральне співвідношення. Аналітична постановка задачі та її рішення.

Література: [1] с. 70–74; [8] с. 49–50.

Лекція 13. Основи гідродинамічної теорії теплообміну. Ламінарна течія, перехід до турбулентного режиму. Критеріальні рівняння.

Література: [8] с. 49–55.

Лекція 14. Теплообмін конвекцією у трубах і каналах. Особливості руху і теплообміну в каналах. Режими руху. Критеріальні рівняння тепловіддачі в трубах і каналах. Тепловіддача в каналах некруглої форми та зігнутих трубах.

Література: [1] с. 76–79; [6] с. 54-56.

Лекція 15. Теплообмін при поперечному обтіканні труб та пучків труб Поперечне обтікання круглого циліндра. Зміна характеру течії та інтенсивності тепловіддачі по периметру циліндра. Розрахункові критеріальні залежності. Основні типи пучків. Характер руху в пучках. Емпіричні формули для розрахунку тепловіддачі і гідравлічного опору пучків труб.

Література: [1] с. 79–84; [8] с. 46–49.

Змістовий модуль 3. **Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати**

Тема 7. Тепломасообмін при фазових перетвореннях

Лекція 16. Теплообмін при конденсації пара. Види процесу конденсації: плівкова та краплинна, об'ємна та поверхнева. Термічний опір. Конденсація на вертикальній поверхні. Задача Нуссельта. Конденсація на трубах і зовні труб. Режими конденсації. Вплив різних факторів на конденсацію пари. Критеріальні рівняння.

Література: [1] с. 87-92; [6] с. 250–259.

Лекція 17. Теплообмін при кипінні рідини. Механізм процесу кипіння. Бульбашкове і плівкове, об'ємне та поверхневе кипіння. Процес кипіння у великому об'ємі та недогрітої рідини. Розрахунки процесу кипіння. Залежність густини теплового потоку та коефіцієнта тепловіддачі від температурного напору. Перша та друга криза кипіння. Емпіричні та критеріальні рівняння для розрахунку процесів кипіння. Процес кипіння у вертикальних та горизонтальних парогенеруючих каналах. Розрахунки тепловіддачі.

Література: [1] с. 92–98; [6] с. 260–273.

Лекція 18. Тепломасообмін. Основні поняття та закони тепломасообміну. Перенесення маси дифузією. Концентраційна, термо- та бародифузія. Диференціальні рівняння та крайові умови. Тепло- і масовіддача в парогазових сумішах (вологе повітря). Потрійна аналогія процесів руху і перенесення теплоти і маси та її використання у теплових розрахунках.

Література: [8] с. 97–106.

Тема 8. Випромінювання

Лекція 19. Основні положення та фізичний опис випромінювання. Види променистих потоків та оптичні властивості тіл. Поверхнева густина теплового потоку та яскравість випромінювання. Закони випромінювання: Планка, Віна, Стефана-Больцмана, Кірхгофа та Ламберта.

Література: [1] с. 99–108; [12] с. 141–144.

Лекція 20. Розрахунки процесу випромінювання. Теплообмін випромінюванням між тілами. Кутові коефіцієнти. Екранування. Особливості процесу в поглинаючих та випромінюючих середах – газах та парах. Променистий теплообмін між газовою середою та стінкою. Складний теплообмін. Рівняння та критерії для розрахунку випромінювання.

Література: [1] с. 108–116; [12] с. 144–149.

Тема 9. Теплові та гідравлічні розрахунки в теплообмінних апаратах

Лекція 21. Класифікація та типи теплообмінних апаратів. Рекуперативні, регенеративні, контактні та акумулятори теплоти. Основні рівняння для розрахунку теплообмінників, теплоенергетичного балансу та теплопередачі.

Література: [1] с. 146–150; [6] с. 78–94.

Лекція 22. Методи теплових розрахунків. Конструктивний та повірочний розрахунки. Схеми течії теплоносіїв та визначення середньої різниці температур теплоносіїв. Розрахунки кінцевих значень температур теплоносіїв. Інтенсифікація теплопередачі в теплообмінних апаратах та оцінка їх ефективності. Основи гідромеханічного розрахунку теплообмінних апаратів.

Література: [1] с. 150–163; [8] с. 89–94.

5.1 Тематичний план навчальної дисципліни

Розподіл навчального часу за модулями навчальної дисципліни «Тепломасообмін» наведений у табл. 2.

Таблиця 2 – **Розподіл навчального часу за модулями**

Назви модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма навчання					заочна форма навчання				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	лаб.	пр.	с.р.		л	лаб.	пр.	с.р.
Змістовий модуль 1. **Теплопровідність**										
Тема 1. Фізичні основи теплообміну. Стаціонарна теплопровідність	25	6	4	4	11	25	1	–	1	23
Тема 2. Стаціонарна теплопередача плоских, циліндричних та сферичних стінок. Методи інтенсифікації теплопередачі	27	6	–	4	17	27	1	1	1	24
Тема 3. Нестаціонарна теплопровідність	23	4	2	4	13	23	1	1	–	21
Разом за змістовим модулем 1:	**75**	**16**	**6**	**12**	**41**	**75**	**3**	**2**	**2**	**68**
Змістовий модуль 2. **Конвективний теплообмін**										
Тема 4. Фізичний та математичний опис конвективного теплообміну	20	4	–	2	14	20	1	–	1	18
Тема 5. Вільна конвекція теплоти	23	2	2	4	15	23	1	1	–	21
Тема 6. Вимушена конвекція. Задачі зовнішнього та внутрішнього обтікання	32	8	2	4	18	32	1	–	–	31
Разом за змістовим модулем 2:	**75**	**14**	**4**	**10**	**47**	**75**	**3**	**1**	**1**	**70**

Продовження табл. 2

Назви модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма навчання					заочна форма навчання				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	лаб.	пр.	с.р.		л	лаб.	пр.	с.р.
Змістовий модуль 3. **Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати**										
Тема 7. Тепломасообмін при фазових перетвореннях	24	6	3	4	11	24	1	–	1	22
Тема 8. Випромінювання	18	4	2	2	10	18	1	1	–	16
Тема 9. Теплові та гідравлічні розрахунки в теплообмінних апаратах	18	5	–	2	11	18	–	–	–	18
Разом за змістовим модулем 3:	**60**	**15**	**5**	**8**	**32**	**60**	**2**	**1**	**1**	**56**
Усього годин:	**210**	**45**	**15**	**30**	**120**	**210**	**8**	**4**	**4**	**194**

Примітки: 1) для ЗВО заочної форми навчання викладаються оглядові лекції за темами модулів у обсягах відповідно до табл. 2;

2) л – лекції; лаб. – лабораторні роботи; пр. – практичні заняття; с.р. – самостійна робота;

3) для ЗВО заочної форми навчання, що навчаються за скороченим терміном навчання (вступ на основі ОКР «фаховий молодший бакалавр» і ОКР «молодший спеціаліст»), лабораторні роботи переносяться на самостійну проробку.

5.2 Теми лабораторних робіт

Перелік тем лабораторних робіт навчальної дисципліни «Тепломасообмін» наведений у табл. 3.

Таблиця 3 – **Перелік тем лабораторних робіт**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Змістовий модуль 1. **Теплопровідність**			
1	Вступне заняття. Інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки. Методика виконання лабораторних робіт. Вимоги до форми представлення звіту. *Література*: [5] с. 3–4	2	--
2	**Лабораторна робота № 1**. Визначення коефіцієнта теплопровідності твердих тіл методом плоского шару. *Література*: [5] с. 4–10	2	1
3	**Лабораторна робота № 2**. Визначення коефіцієнта температуропровідності, теплопровідності та тепловіддачі методом регулярного режиму. *Література*: [5] с. 10–19	2	1

Продовження табл. 3

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Змістовий модуль 2. **Конвективний теплообмін**			
4	**Лабораторна робота № 3.1**. Вивчення тепловіддачі вертикальної пластини до вільного потоку повітря. *Література*: [5] с. 19–31	2	--
5	**Лабораторна робота № 3.2**. Вивчення тепловіддачі вертикального циліндра до вільного потоку повітря. *Література*: [5] с. 31–34	2	1
Змістовий модуль 3. **Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати**			
6	**Лабораторна робота № 5**. Дослідження тепловіддачі при конденсації водяної пари на поверхні горизонтальної труби. *Література*: [5] с. 35–42	3	--
7	**Лабораторна робота № 6**. Визначення інтегрального ступеня чорноти твердого тіла калометричним методом. *Література*: [5] с. 42–57	2	1
	Разом:	**15**	**4**

5.3 Теми практичних занять

Перелік тем практичних занять навчальної дисципліни «Тепломасообмін» наведений у табл. 4.

Таблиця 4 – **Перелік тем практичних занять**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Змістовий модуль 1. **Теплопровідність**			
1	Основні поняття та визначення дисципліни. Методика проведення практичних занять та поточного модульного контролю. *Література*: [2] с. 9–18; [4] с. 3–5	2	–
2	Вирішення типових задач зі стаціонарної теплопровідності та теплопередачі. *Література*: [4] с. 6–11	2	–

Продовження табл. 4

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
3	**Контрольна робота зі стаціонарної теплопровідності (КР1)**. *Література*: [4] с. 11–13	2	1
4	**Контрольна робота зі стаціонарної теплопередачі (КР2)**. *Література*: [4] с. 14–17	2	1
5	Вирішення типових задач з оребрення, внутрішніх джерел теплоти та нестаціонарної теплопровідності. *Література*: [4] с. 17–21, с. 24–26	2	–
6	**Контрольна робота з оребрення, внутрішніх джерел теплоти та нестаціонарної теплопровідності (КР3)**. *Література*: [2] с. 79–82; [4] с. 21–24, с. 26–28, с. 37–39	2	–
7	***Поточний модульний контроль (ПМК1) за змістовим модулем 1***	2	–
Змістовий модуль 2. **Конвективний теплообмін**			
8	Вирішення типових задач з теорії теплової подібності та вільної конвекції. *Література*: [4] с. 39–43, с. 66–70	2	–
9	**Контрольна робота з теорії теплової подібності та вільної конвекції (КР4)**. *Література*: [4] с. 43–47	2	1
10	Вирішення типових задач з вимушеної конвекції. *Література*: [4] с. 47–63	2	–
11	**Контрольна робота з вимушеної конвекції (КР5)**. *Література*: [4] с. 63–65; [2] с .69–73	2	–
12	***Поточний модульний контроль (ПМК2) за змістовим модулем 2***	2	–
Змістовий модуль 3. **Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати**			
13	Вирішення типових задач з теплообміну при фазових перетвореннях. *Література*: [4] с. 72–80, с. 82–86; [2] с. 75–78	2	–
14	**Контрольна робота з теплообміну при фазових перетвореннях (КР6)**. *Літератур*а: [4] с. 80–82, с. 86–87	2	1
15	***Поточний модульний контроль (ПМК3) за змістовим модулем 3***	2	–
	Разом:	**30**	**4**

5.4 Самостійна робота

До основних форм самостійної роботи ЗВО при вивченні даної дисципліни відносяться:

1) опрацювання лекційного матеріалу і самостійне вивчення окремих розділів за допомогою рекомендованої літератури (теми самостійної роботи і рекомендована література наведені у Додатку 1);

2) підготовка до лабораторних і практичних занять і своєчасне виконання звітів із них;

2) підготовка протягом семестру чотирьох рефератів (теми рефератів вибираються із Додатка 1);

3) підготовка до проміжного та підсумкового модульних контролів знань;

4) виконання контрольної роботи (для ЗВО заочної форми навчання).

Опрацювання лекційного матеріалу полягає в роботі з конспектом лекцій. На даному етапі треба розібратися з новими поняттями та положеннями, домогтися розуміння логічного змісту формулювань. При цьому варто використовувати основну і додаткову літературу, а при нерозумінні окремих питань необхідно звернутися за консультацією до науково-педагогічного працівника (НПП).

Підготовка до лабораторних і практичних занять, виконання звітів із них допоможе ЗВО закріпити теоретичні знання і набути практичні навички виконання розрахунків переносу теплоти в елементах теплоенергетичних установок.

Виконання контрольної роботи, підготовка до підсумкового модульного контролю повинні здійснюватися протягом усього семестру шляхом проробки лекційного матеріалу і літературних джерел.

Розподіл годин самостійної роботи навчальної дисципліни «Тепломасообмін» наведений у табл. 5.

Таблиця 5 – **Розподіл годин самостійної роботи**

№ з/п	**Вид роботи**	**Кількість годин**		
		Норматив	**денна форма** навчання	**заочна форма** навчання
1	Підготовка до лекційних занять	0,5 (1) годин на 1 лекцію	12	22
2	Підготовка до лабораторних робіт	до 1 (2) години на 1 роботу	6	8
2	Підготовка до практичних занять	до 1 (2) години на 1 роботу	12	8
3	Підготовка до поточного модульного контролю	підготовка до контрольних заходів – 15 (30) годин на 1 захід	15	--
4	Підготовка до екзамену		15	30
5	Написання реферату	15 годин на 1 роботу	4 × 15 = 60	4 × 15 = 60
6	Виконання контрольної роботи	до 30 годин на 1 роботу	--	66
		Разом:	120	194

5.5 Контрольна робота

Контрольна робота передбачена для ЗВО заочної форми навчання і складається з п’яти практичних задач (наведені у [4]) та трьох відповідей на теоретичні питання за матеріалами кожного із трьох змістових модулів (наведені у Додатку 2).

Варіант контрольної роботи обирається згідно з табл. 6 за порядковим номером ЗВО в групі (відповідно до журналу академічної групи).

Таблиця 6 – **Вибір варіанту контрольної роботи**

Номер ЗВО у групі	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
Номери задач контрольної роботи															
	1.12, 3.5, 6.5, 8.10, 11.2	2.10, 4.2, 6.16, 7.10, 10.11	3.3, 4.5, 5.7, 9.4, 11.13	1.17, 3.6, 6.3, 8.9, 10.8	1.10, 4.1, 5.1, 7.13, 10.2	1.18, 4.6, 6.2, 9.6, 11.7	1.5, 3.4, 5.2, 7.8, 9.2	1.15, 2.8, 6.7, 8.12, 10.14	2.11, 4.10, 6.4, 8.4, 10.9	1.8, 3.11, 7.1, 9.10, 11.1	1.26, 2.5, 5.3, 7.7, 10.6	1.3, 2.9, 7.2, 9.5, 11.11	1.16, 4.7, 6.12, 8.3, 9.1	1.13, 2.7, 6.6, 9.8, 11.3	1.25, 3.12, 6.13, 8.11, 10.5
Номери питань контрольної роботи															
Змістовий модуль 1	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
Змістовий модуль 2	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25
Змістовий модуль 3	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Номер ЗВО у групі	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
Номери задач контрольної роботи															
	2.13, 3.7, 7.6, 9.13, 11.6	1.14, 2.6, 6.8, 8.8, 10.13	1.20, 2.4, 7.5, 9.12, 11.12	1.2, 3.2, 6.11, 8.1, 10.7	1.23, 2.3, 5.8, 7.9, 11.8	1.9, 4.4, 5.6, 7.14, 10.3	1.1, 3.9, 6.1, 9.11, 11.4	1.7, 2.2, 5.5, 7.12, 10.4	1.22, 4.9, 6.15, 8.7, 10.1	1.19, 2.1, 7.4, 9.7, 11.10	2.12, 3.10, 5.4, 7.11, 9.3	1.6, 4.8, 6.10, 8.6, 10.10	1.11, 4.3, 6.14, 8.2, 11.5	1.4, 3.8, 6.9, 8.5, 10.12	1.24, 3.1, 7.3, 9.9, 11.9
Номери питань контрольної роботи															
Змістовий модуль 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 2	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	49	48	47	46
Змістовий модуль 3	70	71	72	73	74	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66

Контрольна робота виконується у години самостійної роботи ЗВО після пророблення і засвоєння всього навчального матеріалу дисципліни.

Контрольна робота повинна бути виконана на аркушах формату А4, надрукована або написана акуратно і розбірливо чорнилом одного кольору; рисунки

повинні бути виконані засобами машинної графіки або олівцем із застосуванням креслярських пристосувань, дотримуючись масштабу і ДСТУ.

Варто пронумерувати сторінки і залишити з правої сторони аркуша поля не менш 30 мм для зауважень викладача.

Умови задач і формулювання контрольних питань повинні бути переписані повністю. Розв’язання задач слід супроводжувати стислими поясненнями та докладними розрахунками; у тих випадках, коли це можливо, навести рисунки. Необхідно вказувати одиниці вимірювання всіх фізичних величин. При розв'язанні задач можна використовувати спеціальні математичні програми для ЕОМ (MathCad, MathLab та інші).

Відповіді на контрольні питання повинні бути сформовані з використанням основних теоретичних положень. Вони повинні бути стислими, але вичерпними.

При виборі розрахункових формул слід робити посилання на літературне джерело, а в кінці контрольної роботи необхідно навести повний список використаних джерел, якими користувалися.

Наприкінці роботи треба проставити дату виконання роботи і підпис.

Якщо в роботі допущені недоліки і помилки, то ЗВО повинен виконати усі вказівки НПП, які зазначені в рецензії.

Робота, виконана не за своїм варіантом, не зараховується і повертається ЗВО без оцінки.

6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування

Методи навчання: робота з літературою; пояснення; демонстрування; лекція; бесіда; ілюстрування; відеометод; лабораторна робота; інструктаж; фронтальне опитування.

Засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування: усні відповіді; контрольні роботи; екзамен; розрахунково-графічна робота; завдання на лабораторному обладнанні, реальних об’єктах тощо.

7. Форми поточного та підсумкового контролів

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою Університету.

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного контролю і оцінки заключного екзамену. У кожного компонента своя частина в загальній системі оцінок.

У проміжних оцінках ЗВО може набрати 60 балів (табл. 7). Під компонентом проміжних оцінок розуміються поточні оцінки протягом семестру (виконання та захист лабораторних і практичних робіт, виконання трьох тестів поточного модульного контролю за матеріалами першого, другого та третього змістових моду-

лів для ЗВО денної форми навчання; виконання та захист лабораторних і практичних робіт та контрольної роботи для ЗВО заочної форми навчання).

Таблиця 7 – **Максимальні бали проміжних оцінок**

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Виконання лабораторних робіт	6 робіт × 3 бали = **18 балів**	4 роботи × 3 бали = **12 балів**
Виконання практичних робіт	6 робіт × 3 бали = **18 балів**	4 роботи × 3 бали = **12 балів**
Поточний модульний контроль	3 ПМК × 8 балів = **24 бали**	–
Виконання контрольної роботи	–	1 робота × 36 балів = **36 балів**
Усього:	**60**	**60**

ЗВО денної та заочної форми навчання складають заключний екзамен. Питома вага екзамену в загальній системі оцінок – 40 балів.

Право здавати заключний екзамен надається ЗВО, який з кожного виду поточного модульного контролю набирає не менше 60 % від максимальної кількості балів.

Зарахування кредитів навчального курсу можливо тільки після досягнення результатів, запланованих робочою програмою навчальної дисципліни, що виражається в одній з позитивних оцінок, передбачених чинним законодавством.

Форми контролю результатів навчальної діяльності здобувачів вищої освіти та їх оцінювання

Лабораторні роботи

Критерії оцінювання лабораторних робіт наведені у табл. 8.

Таблиця 8 – **Критерії оцінювання лабораторних робіт**

Бал	Критерії оцінювання
3	Робота виконана у встановлений термін. Виконана самостійно, чітко сформульовані цілі, завдання та гіпотеза досліджень. Застосовувалися коректні методи обробки отриманих результатів. У висновках проведена коректна інтерпретація результатів
2	Робота виконана у встановлений термін. ЗВО виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації НПП; описує спостереження; складає звіт, що містить неточності у висновках та невеликі помилки
1	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. ЗВО виконує лабораторну роботу під керівництвом НПП; складений звіт містить неточності у висновках та помилки
0	Робота не виконувалася

Практичні роботи

Критерії оцінювання практичних робіт наведені у табл. 9.

Таблиця 9 – **Критерії оцінювання практичних робіт**

Бал	Критерії оцінювання
3	ЗВО самостійно виконав практичну роботу та добре володіє матеріалом відповідно до теми практичного заняття
2	Практичну роботу виконано в основному вірно, ЗВО має уявлення про базовий матеріал відповідно до теми практичного заняття
1	Практична робота виконана з суттєвими помилками, ЗВО має уявлення про базовий матеріал відповідно до теми практичного заняття
0	Робота не виконувалася

Контрольна робота *(для ЗВО заочної форми навчання)*

Контрольна робота для ЗВО заочної форми навчання включає п’ять задач та три теоретичні питання за матеріалами кожного із трьох змістових модулів. Максимальна кількість балів, які набирає ЗВО, складає: за правильну розв’язану задачу – 6 балів і за правильну відповідь на запитання – 2 бали.

Критерії оцінювання якості розв’язання задачі контрольної роботи наведені у табл. 10.

Таблиця 10 – **Критерії оцінювання якості розв’язання задачі контрольної роботи** (1 задача – 6 балів)

Бал	Критерії оцінювання
6	Задача розв’язана правильно, підтверджена відповідними розрахунками у вигляді формул, ілюстративного матеріалу, включає аналіз та необхідні висновки
5	Задача вирішена за правильним алгоритмом, всі формули записані вірно, є ілюстративний матеріал, необхідний аналіз і висновки. Але внаслідок допущеної незначної помилки відповідь у числах не співпадає з контрольною
4	Хід рішення задачі в цілому вірний, але припущена певна кількість дрібни помилок, відповідь не співпадає з контрольною, аналіз і висновки неповні
3	Обраний неправильний алгоритм розв’язання задачі, припущена велика кількість грубих помилок, відсутні ілюстративний матеріал, аналіз і висновки
0	Відсутнє розв’язання задачі

Критерії оцінювання якості відповіді на теоретичні питання контрольної роботи наведені у табл. 11.

Таблиця 11 – **Критерії оцінювання якості відповіді на теоретичні питання контрольної роботи** (1 питання – 2 бали)

Бал	Критерії оцінювання
2	Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки
1	Відповідь на питання достатньо повна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить певну кількість дрібних помилок
0	Відповідь на питання неправильна або відсутня

Поточний модульний контроль

Поточний модульний контроль для ЗВО денної форми передбачає виконання трьох тестів (ПМК1, ПМК2, ПМК3) за матеріалами кожного із трьох змістових модулів. Кожен тест включає дев'ять контрольних питань та одну задачу (див. Додаток 3).

Контрольні питання та задача мають різну вагомість: від 2 до 8 (за задачу) проміжних балів. Загальна максимальна кількість проміжних балів за модульний тестовий контроль складає: ПМК1 та ПМК2 по 33 бали, ПМК3 – 34 бали; разом – 100 балів.

Перерахунок отриманих ЗВО під час тестового контролю проміжних балів на бали, які зараховуються до загального рейтингу поточного семестрового контролю, який складає 60 балів, виконується згідно табл. 12.

Таблиця 12 – **Перерахунок проміжних балів поточного модульного контролю (тестування)**

Вид тесту	Максимальна кількість проміжних балів	Перераховані бали								
		31–34	27–30	23–26	19–22	15–18	11–14	7–10	3–6	менше 3
ПМК1	33	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ПМК2	33	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ПМК3	34	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Підсумковий контроль

Підсумковий контроль проводиться у формі екзамену й складається з письмової відповіді на чотири теоретичних питання. Повна відповідь на всі контрольні питання оцінюється до 40 балів (максимальна кількість балів на одне питання – 10 балів).

Критерії оцінювання письмової відповіді на одне питання підсумкового контролю наведені у табл. 13.

Таблиця 13 – **Критерії оцінювання відповіді підсумкового контролю** (1 питання – 10 балів)

Бал	Критерії оцінювання
10	Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки
8	Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки, але містить незначну кількість дрібних помилок
6	Відповідь на питання достатньо повна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість дрібних помилок
4	Відповідь на питання неповна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість як дрібних, так і грубих помилок
0	Відповідь на питання відсутня

8. Критерії оцінювання результатів навчання

Підсумкова оцінка знань ЗВО у залежності від набраної суми балів формується у відповідності до наступної шкали (табл. 14), в якій представлено відповідність між набраними балами, оцінкою ECTS та традиційною системою оцінювання.

Таблиця 14 – **Шкала оцінювання: національна та ESTS**

Сума балів за всі види освітньої діяльності	Оцінка ESTS	Підсумкова оцінка за національною шкалою за дисципліну
90-100	**A**	відмінно
82-89	**B**	добре
74-81	**C**	
64-73	**D**	задовільно
60-63	**E**	задовільно
35-59	**FX**	незадовільно з можливістю повторного складання
0-34	**F**	незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

Можливі поточні бали за опанування матеріалу кожної теми, виконання кожної лабораторної та практичної робіт, а також бали складання поточного модульного контролю та екзамену наведені в табл. 15.

Таблиця 15 – **Поточні бали за опанування матеріалу дисципліни**

Номер змістового модуля	Номер теми	Денна форма навчання		Заочна форма навчання	
		Вид роботи	Кількість балів	Вид роботи	Кількість балів
ЗМ 1	Т 1	Лабораторна робота № 1	0…3	Лабораторна робота № 1	0…3
		Практична робота КР1	0…3	Практична робота КР1	0…3
	Т 2	Практична робота КР2	0…3	Практична робота КР2	0…3
	Т 3	Лабораторна робота № 2	0…3	Лабораторна робота № 2	0…3
		Практична робота КР3	0…3	--	--
	Поточний модульний контроль	ПМК 1	0…8	--	--
ЗМ 2	Т 4	--	--	--	--
	Т 5	Лабораторна робота № 3.1	0…3	--	--
		Практична робота КР4	0…3	Практична робота КР4	0…3
	Т 6	Лабораторна робота № 3.2	0…3	Лабораторна робота № 3.2	0…3
		Практична робота КР5	0…3	--	--
	Поточний модульний контроль	ПМК 2	0…8	--	--
ЗМ 3	Т 7	Лабораторна робота № 5	0…3	--	--
		Практична робота КР6	0…3	Практична робота КР6	0…3
	Т 8	Лабораторна робота № 6	0…3	Лабораторна робота № 6	0…3
	Т 9	--	--	--	--
	Поточний модульний контроль	ПМК 3	0…8	--	--
--		--	--	Контрольна робота	0…36
Підсумковий контроль		Екзамен	0…40	Екзамен	0…40
Разом			**0…100**	--	**0…100**

Примітка: ЗМ – змістовий модуль; ПМК – поточна модульна контрольна робота; Т 1, Т 2, …, Т 9 – теми змістових модулів

9. Засоби навчання

Засоби навчання складаються з лабораторного обладнання спеціалізованої лабораторії «Тепломасообмін», зразків і макетів теплообмінного обладнання, яке застосовується в галузі теплоенергетики, включаючи діючу котельну установку, макети ядерних енергетичних установок, графічні засоби (плакати, схеми, креслення), технічні засоби (відеозаписи), комп’ютер і мережу, проекційне обладнання, програмне забезпечення (для здійснення дистанційного навчання, розрахунків на практичних заняттях).

Під час дистанційної роботи кожному ЗВО надається в електронному вигляді конспект лекцій, практикум для проведення практичних занять та лаборато-

рний практикум, а також всі необхідні засоби поточного та підсумкового контролю.

Доступ ЗВО до змісту екзаменаційних білетів забезпечено.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. **Лабай, В. Й**. Тепломасообмін [Текст] : підручник для ВНЗ/ В. Й. Лабай. – Львів : Тріада Плюс, 2004. – 260 с.
2. **Димо, Б. В.** Теплофізичні основи суднової енергетики [Текст] : навч. посібник / Б. В. Димо, В. В. Кузнецов, О. А. Єпіфанов. – Миколаїв : НУК, 2019. – 120 с.
3. **Чепурний, М. М.** Тепломасообін в прикладах і задачах [Текст] : навч. посібник / М. М. Чепурний, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 128 с.
4. **Димо, Б. В.** Практикум з тепломасообміну [Текст] : навч. посібник / Б. В. Димо. – Миколаїв : УДМТУ, 2003. – 136 с.
5. **Єпіфанов, О. А.** Збірник лабораторних робіт з курсу «Тепломасообмін» [Текст] / О. А. Єпіфанов, Б. В. Димо, А. П. Шевцов. – Миколаїв : НУК, 2007. – 56 с.
6. **Співак, О. Ю**. Тепломасообмін. Частина I [Текст] : навч. посібник / О. Ю. Співак, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 113 с.
7. **Yunus A. Çengel**, **Afshin J. Ghajar**. Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications, Fifth edition. – New York, McGraw-Hill Education, 2015. – 991 p.
8. **Погорєлов, А. І.** Тепломасообмін (основи теорії та розрахунку) [Текст] : навч. посібник для ВУЗів. 4-те видання, виправлене / А. І. Погорєлов. – Львів : «Новий світ – 2000», 2006. – 144 с.
9. **Константінов, С. М.** Тепломасообмін [Текст] : підручник / С. М. Константінов. – К. : ВПІ ВПК «Політехніка»: Інрес, 2005. – 304 с.
10. **Приходько, М. А.** Термодинаміка та теплопередача [Текст] : навч. посібник / М. А. Приходько, Г. Г. Герасімов. – Рівне : НУВГП, 2008. – 250 с.

Допоміжна література

11. **Омельченко, О. В**. Тепломасообмін [Текст] : навч. посібник / О. В. Омельченко, Л. О. Цвіркун. – Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2021. – 100 с.
12. **Герасимов, Г. Г**. Теоретичні основи теплотехніки [Текст] : навч. посібник / Г. Г. Герасимов. – Рівне : НУВГП, 2011. – 382 с.
13. **Трофимчук, І. П**. Методичні вказівки до практичних занять, контрольних та самостійних робіт з дисципліни «Тепломасообмін» для студентів напрямів підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» та 6.050602 «Гідроенергетика» денної,

заочної та дистанційної форм навчання [Текст] : / І. П. Трофимчук, В .В. Куба. – Рівне: НУВГП, 2013. – 48 с.

14. **Куба, В.В**. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Тепломасообмін» на тему «Розрахунок геометричних розмірів та втрат тепла теплової мережі, яка складається з котла, теплотраси та теплообмінного апарату» для студентів напрямів підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» та 6.050602 "Гідроенергетика" денної та заочної форм навчання [Текст] : / В. В. Куба, І. П. Трофимчук. – Рівне: НУВГП, 2012. – 32 с.

15. Практикум з тепломасообміну. Стаціонарна теплопровідність без внутрішніх джерел теплоти [Текст] : навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика», освітнього ступеня «бакалавр» / Укладач: І. Е. Фуртат, Н. О. Притула; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 53 с.

Інформаційні ресурси

1. Наукова бібліотека Національного університету кораблебудування http://lib.nuos.edu.ua/ (інструкції з доступу):
   1.1 Підручники, навчальні посібники:
   - видавництво «Олді+» http://ebooks.oldiplus.ua/ (за IP-адресами НУК, ХННІ НУК)
   - Видавництво Bentham Science на платформі Edanz: https://www.edanz.com/
   1.2 Міжнародні наукові, та науково-метричні бази:
   - Access Global NewsBank 2021: https://infoweb.newsbank.com/apps/news/easy-search?p=AWGLNB
   - Elsevier: https://www.elsevier.com/
   - Web of Science: http://webofknowledge.com
   - EBSCOhost: http://search.ebscohost.com
   - Springer: https://link.springer.com/
2. WorldScientificOpen is in full compliance with the latest open access mandates so authors can ensure their research is freely available online, freely redistributed and reused: http://www.worldscientific.com/
3. Сайт Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова: http://www.nuos.edu.ua/
4. Репозитарій НУК: http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/
5. Конференції НУК: http://conference.nuos.edu.ua/catalog/
6. Сайт ХННІ НУК: http://kb.nuos.edu.ua/
7. Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського (Електронний ресурс). Режим доступу: https://nbuv.gov.ua.
8. https://ua.wikipedia.org.
9. https://www.teplo-polis.com.ua.
10. https://www.youtube.coml.

11. https://ep3.nuwm.edu.ua.

Розробник:

к.т.н., професор _____ Б.В. Димо

Додаток 1

Теми самостійної роботи

Змістовий модуль 1. **Теплопровідність**

1. Теплопровідність. Фізичні основи. Температурне поле, градієнт температур.

Література: [1] с. 9–13.

2. Тепловий потік. Закон Фур'є.

Література: [1] с. 13–15.

3. Крайові умови для рішення задач теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності. Значення коефіцієнтів теплопровідності для різноманітніх тіл.

Література: [1] с. 15–23.

4. Стаціонарна теплопровідність крізь плоску стінку.

*Літератур*а: [1] с. 29–34.

5. Стаціонарна теплопередача крізь оребрену стінку.

Література: [8] с. 22–25.

6. Стаціонарна теплопровідність при наявності внутрішніх джерел теплоти.

Література: [8] с. 19–22.

7. Стаціонарна теплопередача крізь оребрену стінку. Коефіцієнт ефективності ребра.

Література: [8] с. 22–28.

8. Аналітичний опис нестаціонарної теплопровідності. Рішення для охолодження (нагріву) пластини.

Література: [8] с. 28–32.

9. Охолодження (нагрів) тіл кінцевих розмірів.

Література: [8] с. 32–33.

10. Регулярний режим. Темп охолодження.

Література: [8] с. 33–36.

Змістовий модуль 2. **Конвективний теплообмін**

11. Система диференціальних рівнянь конвективного теплообміну та крайові умови.

Література: [8] с. 36-40.

12. Числа подібності і їх фізичний зміст. Умови подібності для процесів конвективного теплообміну. Теореми подібності. Критерії подібних процесів.

Література: [8] с. 42–45.

13. Тепловіддачі при вільній конвекції. Місцева і середня тепловіддача на вертикальній поверхні при ламінарній течії та горизонтальних циліндрах.

Література: [8] с. 45–46.

14. Тепловіддача при вільній конвекції у щілинах і прошарках.

Література: [6] с. 41–42.

15. Стаціонарна тепловіддача плоскої поверхні примусовою конвекцією. Фізичний опис.

Література: [6] с. 49–50.

16. Основи гідродинамічної теорії теплообміну.

Література: [9] с. 73–75.

17. Тепловіддача при течії рідини у пучках труб.

Література: [6] с. 54-55.

18. Тепловіддача при течії рідини в трубах і каналах.

Література: [6] с. 50-53.

Змістовий модуль 3. **Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати**

19. Теплообмін при конденсації пари.

Література: [1] с. 92–98.

20. Розрахунки теплообміну при конденсації пари.

Література: [1] с. 98–99.

21. Теплообмін при кипінні рідини.

Література: [1] с. 87–92.

22. Основні поняття та закони тепломасообміну.

Література: [1] с. 163–166.

23. Тепломасообмін в парогазових сумішах.

Література: [1] с. 192–194.

24. Потрійна аналогія процесів тепло- і масовіддачі і руху рідини та її застосування при моделюванні процесів та у теплових розрахунках.

Література: [1] с. 190–192.

25. Теплообмін випромінюванням. Фізична природа теплового випромінювання.

Література: [8] с. 70–73.

26. Закони теплового випромінювання.

Література: [8] с. 73-76.

27. Класифікація і типи теплообмінних апаратів.

Література: [8] с. 89–90.

28. Основні рівняння для теплових розрахунків теплообмінних апаратів.

Література: [8] с. 90–91.

29. Методики теплових розрахунків теплообмінників та вплив схеми течії теплоносіїв.

Література: [8] с. 91–93.

30. Оцінка ефективності теплообмінних апаратів. Гідромеханічний розрахунок теплообмінників.

Література: [6] с. 79–83.

Додаток 2

Питання для модульного контролю

Змістовий модуль 1. **Теплопровідність**

1. Значення і зміст курсу тепломасообміну. Головні засоби переносу теплоти.
2. Теплопровідність. Фізичні основи. Температурне поле, градієнт температур.
3. Тепловий потік. Закон Фур'є.
4. Коефіцієнт теплопровідності. Значення коефіцієнтів теплопровідності для різноманітних тіл.
5. Диференціальне рівняння теплопровідності.
6. Крайові умови для рішення задач теплопровідності.
7. Стаціонарна теплопровідність крізь плоску стінку. Граничні умови I-го роду. Термічний опір стінки.
8. Стаціонарна теплопровідність багатошарової стінки.
9. Стаціонарна теплопередача крізь плоску стінку. Граничні умови III-го роду. Коефіцієнт теплопередачі.
10. Стаціонарна теплопровідність крізь циліндричну стінку. Граничні умови I-го роду.
11. Стаціонарна теплопровідність багатошарової циліндричної стінки. Граничні умови I-го роду.
12. Стаціонарна теплопередача крізь циліндричну стінку. Граничні умови III-го роду. Багатошарова стінка.
13. Критичний діаметр циліндричної стінки. Умови вибору теплової ізоляції.
14. Спосіб інтенсифікації стаціонарної теплопередачі за рахунок збільшення коефіцієнтів тепловіддачі.
15. Спосіб інтенсифікації стаціонарної теплопередачі за рахунок збільшення площини теплообміну. Оребрення стінок.
16. Диференціальне рівняння стаціонарної теплопровідності у прямому ребрі постійного перерізу. Тепловий потік ребра.
17. Стаціонарна теплопередача крізь оребрену стінку. Коефіцієнт ефективності ребра.
18. Стаціонарна теплопровідність при наявності внутрішніх джерел теплоти.
19. Аналітичний опис нестаціонарної теплопровідності. Рішення для охолодження (нагріву) пластини.
20. Нестаціонарна теплопровідність. Випадки $R_{внут} < R_{зов}$ і $R_{внут} \cong R_{зов}$.
21. Визначення теплоти, яка віддається пластиною при охолодженні.
22. Охолодження (нагрів) тіл кінцевих розмірів.
23. Випадок нерівномірного розподілу температур при нестаціонарній теплопровідності. Регулярний режим.

24. Темп охолодження. Критерій Біо.

Змістовий модуль 2. **Конвективний теплообмін**

25. Конвективний теплообмін. Фізичний опис. Примусова і вільна конвекції. Закон Н'ютона-Ріхмана.

26. Диференціальне рівняння енергії для конвективного теплообміну.

27. Система рівнянь для вирішення задач конвективного теплообміну. Граничні умови.

28. Приведення системи рівнянь стаціонарного конвективного теплообміну до безрозмірного вигляду. Числа подібності та їх фізичний зміст.

29. Умови подібності для процесів конвективного теплообміну. Теореми подібності. Критерії подібних процесів.

30. Представлення результатів експерименту конвективного теплообміну в критеріальному вигляді. Отримання критеріальних залежностей.

31. Засоби експериментального знаходження коефіцієнтів тепловіддачі конвективного теплообміну.

32. Осереднення коефіцієнтів тепловіддачі.

33. Стаціонарна тепловіддача плоскої поверхні примусовою конвекцією. Фізичний опис.

34. Інтегральне рівняння теплового потоку для прикордонного шара.

35. Стаціонарна примусова конвективна тепловіддача плоскої поверхні при ламінарному прикордонному шарі.

36. Залежність конвективної тепловіддачі від змінності фізичних властивостей рідини.

37. Вплив на стаціонарну конвективну тепловіддачу змінності температури поверхні пластини по довжині.

38. Вплив на стаціонарну конвективну тепловіддачу початкової ділянки, що не обігрівається.

39. Стаціонарна примусова конвективна тепловіддача плоскої поверхні при турбулентному прикордонному шарі.

40. Тепловіддача при течії рідини у трубах і каналах. Особливості течії теплообміну.

41. Гідродинамічний і тепловий прикордонні шари. В'язкісний та в'язкісно-гравітаційний режими течії.

42. Результати дослідів з тепловіддачі примусовою конвекцією у трубах і каналах.

43. Теплообмін при зовнішній течії рідини навколо однієї труби.

44. Тепловіддача при течії рідини у пучках труб.

45. Тепловіддача при течії рідини в каналах некруглого перерізу і зігнутих трубах.

46. Тепловіддачі при вільній конвекції. Місцева і середня тепловіддача на вертикальній поверхні при ламінарній течії.

47. Тепловіддача при вільній конвекції на вертикальній поверхні при турбулентній течії.

48. Тепловіддача при вільній конвекції на горизонтальних циліндрах.

49. Тепловіддача при вільній конвекції у щілинах і прошарках.

50. Еквівалентна теплопровідність вільною конвекцією. Коефіцієнт конвекції.

Змістовий модуль 3. **Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати**

51. Тепловіддача при конденсації пари. Плівкова і краплинна конденсації.

52. Термічний опір плівки конденсату.

53. Теплообмін при ламінарній течії плівки конденсату на вертикальній поверхні. Рішення Нуссельта.

54. Вплив на теплообмін плівки конденсату сил інерції, залежності теплофізичних властивостей від температури та режиму хвильової течії плівки.

55. Теплообмін при турбулентній течії плівки конденсату.

56. Теплообмін при кипінні рідини. Бульбашкове кипіння.

57. Теплообмін при плівковим кипінні.

58. Залежність теплового потоку від температурного напору при кипінні рідини. Критична густина теплового потоку.

59. Залежність коефіцієнта тепловіддачі при кипінні рідини від температурного напору.

60. Рівняння для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні.

61. Теплообмін випромінюванням. Фізична природа теплового випромінювання.

62. Оптичні здібності фізичних тіл. Види потоків випромінювання.

63. Закони теплового випромінювання.

64. Теплообмін випромінюванням між тілами з плоскопаралельними поверхнями без екранів.

65. Теплообмін випромінюванням між тілами при наявності екранів.

66. Класифікація теплообмінних апаратів.

67. Теплопередача в теплообмінних апаратах. Основні рівняння для теплового розрахунку теплообмінних апаратів.

68. Водяний еквівалент залежності зміни температури теплоносіїв від співвідношення водяних еквівалентів при різних схемах руху.

69. Середнєлогарифмічний температурний напір прямоструминного руху теплоносіїв.

70. Середнєлогарифмічний температурний напір протиструминного руху теплоносіїв.

71. Середнєлогарифмічний температурний напір перехресного руху теплоносіїв.

72. Основні поняття тепло- і масообміну.

73. Диференціальні рівняння тепло- і масообміну.

74. Тепло- і масовіддача в елементах енергетичних установок.

75. Потрійна аналогія процесів тепло- і масовіддачі і руху рідини та її застосування при моделюванні процесів та у теплових розрахунках.

Додаток 3

Тестові завдання поточного модульного контролю

Змістовий модуль № 1 **«Теплопровідність»**

Тестове завдання № 1 (90 хвилин, 33 бали)

1. Якими способами відводиться теплота від поверхні батареї опалення приміщення до повітря (**2 бали**)?

а) вимушеною конвективною тепловіддачею;

б) вимушеною конвективною тепловіддачею та випромінюванням;

в) вільною конвективною тепловіддачею та випромінюванням;

г) теплопровідністю та випромінюванням.

2. Шляхом чого головним чином переноситься теплота теплопровідністю у металах (**2 бали**)?

а) пружних коливань; б) дифузії молекул та атомів; в) дифузії вільних електронів та пружних коливань кристалічних грат; г) дифузії вільних електронів.

3. Як записується рівняння основного закону теплопровідності (закону Фур'є) (**2 бали**)?

а) $j = -D\mathrm{grad}\rho$; б) $q = \alpha\Delta t$; в) $q = -\lambda\mathrm{grad}t$; г) $E_{\text{о}} = \sigma T^4$.

4. Який вид має диференціальне рівняння теплопровідності для одновимірної стаціонарної задачі без внутрішніх джерел теплоти (**3 бали**)?

а) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right)$; б) $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0$; в) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \frac{q_v}{\rho c}$; г) $0 = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \frac{q_v}{\rho c}$.

5. Як записують граничні умови третього роду (**2 бали**)?

а) $t_{\text{ст}} = f(x, y, z, \tau)$; б) $\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0} = 0$; в) $\alpha(t_{\text{ст}} - t_{\text{р}}) = -\lambda_{\text{ст}}\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_{\text{ст}}$; г) $q_{\text{п}} = f(x, y, z, \tau)$.

6. Матеріал з яким коефіцієнтом теплопровідності, Вт/(м·К), доцільно використовувати для ізоляції трубопроводу діаметром 15 мм з коефіцієнтом тепловіддачі на поверхні 8 Вт/(м^2·К) **(4 бали)**:

а) 0,08; б) 0,25; в) 0,36; г) 0,05; д) 0,07.

7. За яким законом змінюється надлишкова температура уздовж стрижня нескінченної довжини (**3 бали**)?

а) лінійним; б) експоненціальним; в) степеневим; г) логарифмічним.

8. Через який проміжок часу, с, слід вимірювати температурне поле моделі діаметром 100 мм, якщо необхідно знати температурне поле вала діаметром 500 мм після 50 хв після початку його нагріву? Прийняти коефіцієнти температуропровідності однаковим для моделі і вала (**4 бали**):

а) 235 с; б) 12 с; в) 120 с; г) 1200 с; д) 985 с.

9. Де знаходиться напрямна точка, через яку проходять дотичні до температурних кривих у плоскій стінці при її охолодженні (нагріванні), якщо $\mathrm{Bi} \to \infty$ (**3 бали**)?

а)на поверхні; б)на відстані $1/\mathrm{Bi}$ від поверхні; в)на нескінченності; г)усередині.

Задача

Визначити тепловий потік, кВт, через плоску оребрену стінку (λ= 45 Вт/(м·К)) розміром 1000 × 1000 мм і товщиною δ = 5 мм. З боку неоребреної поверхні температура рідини t_1 = 300 °С, а коефіцієнт тепловіддачі α_1 = 1000 Вт/(м^2·К). З боку оребреної поверхні температура газу t_2 = 100 °С, а коефіцієнти тепловіддачі з поверхні ребер та гладкої частини оребреної поверхні, Вт/(м^2·К), відповідно $\alpha_р$ = 10 та $\alpha_с$ = 8. Площа оребреної поверхні $F_{р.с}$ = 5 м^2, а її гладкої частини $F_с$ = 0,5 м^2. Коефіцієнт ефективності ребра E=0,8 (**8 балів**).

Тестове завдання № 2 (90 хвилин, 33 бали)

1. Якими способами відводиться теплота від гарячої води до внутрішньої поверхні батареї опалення приміщення **(2 бали)**?

а) теплопровідністю та випромінюванням;

б) вимушеною конвективною тепловіддачею та випромінюванням;

в) вільною конвективною тепловіддачею та випромінюванням;

г) вимушеною конвективною тепловіддачею.

2. Шляхом чого переноситься теплота теплопровідністю у газах **(2 бали)**?

а) пружних коливань;

б) дифузії молекул та атомів;

в) дифузії вільних електронів та пружних коливань кристалічних грат;

г) дифузії вільних електронів.

3. Як записується рівняння основного закону конвективного теплообміну (закону Ньютона-Ріхмана) **(2 бали)**?

а) $j = -D\mathrm{grad}\rho$; б) $q = \alpha\Delta t$; в) $E_о = \sigma T^4$; г) $q = -\lambda\mathrm{grad}t$.

4. Який вид має диференціальне рівняння теплопровідності для одновимірної нестаціонарної задачі без внутрішніх джерел теплоти (**3 бали**)?

а) $\dfrac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right)$; б) $\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0$; в) $\dfrac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right)$; г) $0 = a\left(\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \dfrac{q_v}{\rho c}$.

5. Як зміняться теплові втрати з поверхні труби зовнішнім діаметром d_2 після її теплової ізоляції, якщо діаметр ізоляції $d_2 < d_{із} < d_{кр}$, де $d_{кр}$ – критичний діаметр теплової ізоляції **(3 бали)**?

а) зменшаться; б) зростуть; в) зростуть, а потім зменшаться; г) не зміняться.

6. Який тепловий потік переноситься теплопровідністю уздовж сталевого стрижня (λ = 50 Вт/(м·К)) довжиною 100 мм і перерізом 100 мм^2, якщо перепад

температури становить 1000 °С, а теплообмін на бічній поверхні стрижня відсутній **(4 бали)**?

а) 100 Вт; б) 500 Вт; в) 50 Вт; г) 1000 Вт.

7. При якій умові коефіцієнт ефективності ребра $E = f\left(\frac{h}{\delta}\sqrt{2\text{Bi}}\right)$ наближається до свого максимального значення, яке дорівнює одиниці, при заданих геометричних розмірах ребра **(3 бали)**?

а) $\text{Bi} \to 0$; б) $\text{Bi} \to \infty$; в) $100 > \text{Bi} \geq 0{,}1$; г) $10 > \text{Bi} \geq 0{,}01$.

8. Визначити темп охолодження, $с^{-1}$, тіла у водяному термостаті з температурою 20 °С, якщо його температура в місці установлення термопари після установлення регулярного режиму зменшилася за $\Delta\tau$ = 10 хв з t_1 = 80 до t_2 = 30 °С **(4 бали)**.

а) $0{,}114\times10^{-3}$; б) $3{,}906\times10^{-2}$; в) $5{,}786\times10^{-1}$; г) $12{,}854\times10^{-3}$; д) $2{,}986\times10^{-3}$.

9.Яким рівнянням описується температурне поле при регулярному режим **(2 бали)**?

а) $\vartheta = \sum_{n=1}^{100} A_n U_n e^{-m_n \tau}$; б) $\vartheta = A_n U_n e^{-m_n \tau}$; в) $\vartheta = \sum_{n=1}^{\infty} A_n U_n e^{-m_n \tau}$; г) $\vartheta = A_1 U_1 e^{-m_1 \tau}$.

Задача

Визначити необхідну довжину ручки каструлі з алюмінію (λ = 200 Вт/(м·К)) постійного прямокутного поперечного перерізу 30 × 5 мм, в якій кипить вода, щоб надлишкова температура кінця ручки не перевищувала 30 °С. Прийняти коефіцієнт тепловіддачі з поверхні ручки 10 Вт/(м^2·К), а надлишкову температуру біля її основи 80 °С (**8 балів**).

Тестове завдання № 3 (90 хвилин, 33 бали)

1. Градієнт температури це **(2 бали)**:

а) скалярна величина;

б) векторна величина, спрямована у бік зростання температури по нормалі до ізотермічної поверхні;

в) векторна величина, спрямована у бік зменшення температури;

г) векторна величина, спрямована у бік зростання температури.

2. У яких межах лежить коефіцієнт теплопровідності газів, Вт/(м·К) **(2 бали)**?

а) 0,006 ... 0,6; б) 0,07 ... 0,7; в) 20 ... 400; г) 3 … 10.

3. До якої температури ближче температура поверхні батареї опалення приміщення **(2 бали)**?

а) приблизно дорівнює середньоарифметичному температур повітря та води;

б) до температури оточуючого повітря;

в) до температури гарячої води.

4. Який вид має диференціальне рівняння теплопровідності для двовимірної нестаціонарної задачі без внутрішніх джерел теплоти **(3 бали)**?

а) $0 = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \frac{q_v}{\rho c}$; б) $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0$; в) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \frac{q_v}{\rho c}$; г) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right)$.

5. Як записують граничні умови першого роду **(2 бали)**?

а) $q_п = f(x, y, z, \tau)$; б) $\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0} = 0$; в) $\alpha(t_{ст} - t_р) = -\lambda_{ст}\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_{ст}$; г) $t_{ст} = f(x, y, z, \tau)$.

6. Визначити коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), вільною конвекцією від поверхні батареї опалення площею 1 м^2 з температурою 100 ^{o}С до оточуючого повітря з температурою 20 ^{o}С, якщо сумарний тепловий потік, що відводиться від поверхні батареї, становить 850 Вт, а тепловий потік випромінюванням – 50 Вт **(4 бали)**:

а) 1000; б) 100; в) 10; г) 5; д) 50.

7. Яке співвідношення теплових потоків Q_1/Q_2 через стрижні нескінченної довжини з однаковими геометричними параметрами, надлишковими температурами біля основи ϑ_0 та коефіцієнтами тепловіддачі з поверхні α, якщо коефіцієнт теплопровідності першого стрижня λ_1 = 200 Вт/(м·К), а другого – λ_2 = 50 Вт/(м·К) **(4 бали)**?

а) 1,2; б) 2; в) 3; г) 4; д)5.

8. Як записується рівняння першої теореми Кондратьєва **(3 бали)**?

а) $a = Km_\infty$; б) $\Theta = f(\mathrm{Fo}, \mathrm{Bi}, X, Y, Z)$; в) $\vartheta = \sum_{n=1}^{\infty} A_n U_n e^{-m_n \tau}$; г) $m = \Psi \frac{\overline{\alpha} F}{\rho c V}$.

9. Чому дорівнюють корені характеристичного рівняння $\mathrm{ctg}\mu = \mu/\mathrm{Bi}$ для задачі охолодження (нагрівання) необмеженої пластини, якщо $\mathrm{Bi} \to 0$ **(3 бали)**?

а) $\mu_n = (n-1)\frac{\pi}{2}$; б) $\mu_n = (2n-1)\frac{\pi}{2}$; в) $\mu_n = (n-1)\pi$; г) $\mu_n = (3n-1)\frac{\pi}{2}$.

Задача

Визначити коефіцієнт теплопровідності досліджуваного матеріалу у вигляді кулі діаметром 30 мм з коефіцієнтом температуропровідності a = 0,45 · 10^{-6} м^2/с, якщо при охолодженні у повітряному термостаті (коефіцієнт тепловіддачі 5 Вт/(м^2 · К)) з температурою 20 ^{o}С його температура в місці установлення термопари після установлення регулярного режиму зменшилася за $\Delta\tau$ = 20 хв з t_1 = 40 до t_2 = 30 ^{o}С **(8 балів)**.

Тестове завдання № 4 (90 хвилин, 33 бали)

1. Який вид має рівняння нестаціонарного одновимірного температурного поля **(2 бали)**?

а) $t = f(x, y, z, \tau)$; б) $t = f(x, y, z)$; в) $t = f(x)$; г) $t = f(x, \tau)$.

2. Густина теплового потоку це **(2 бали)**:

а) векторна величина, спрямована у бік зменшення температури;

б) векторна величина, спрямована у бік зменшення температури по нормалі до ізотермічної поверхні;

в) скалярна величина;

г) векторна величина, спрямована у бік зростання температури.

3. Яке значення має коефіцієнт тепловіддачі при вільній конвекції у газах, Вт/(м^2·К) **(2 бали)**?

а) 5 ... 500; б) 100 ... 500; в) 1000 … 10000; г) 5 ... 30.

4. Який вид має диференціальне рівняння теплопровідності для нестаціонарної теплопровідності необмеженої пластини без внутрішніх джерел теплоти **(3 бали)**?

а) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right)$; б) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right)$; в) $0 = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \frac{q_v}{\rho c}$; г) $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0$.

5. Як записують граничні умови для стаціонарної теплопровідності необмеженої пластини при наявності внутрішніх джерел теплоти **(2 бали)**?

а) $t_{ст} = f(x, y, z)$; б) $q_п = f(x, y, z, \tau)$; в) $\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0} = 0$ і $\alpha(t_{ст} - t_р) = -\lambda_{ст}\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=\delta}$;

г) $\alpha(t_{ст} - t_р) = -\lambda_{ст}\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_{ст}$.

6. Який коефіцієнт теплопровідності має матеріал стрижня довжиною 100 мм і перерізом 100 мм^2, якщо уздовж нього переноситься тепловий потік 50 Вт, а перепад температури становить 1000 ^{o}С. Теплообмін на бічній поверхні стрижня відсутній **(4 бали)**?

а)20 Вт/(м·К); б) 30 Вт/(м·К); в) 40 Вт/(м·К); г) 50 Вт/(м·К).

7. Як зміняться теплові втрати з поверхні труби зовнішнім діаметром d_2 після її теплової ізоляції, якщо діаметр ізоляції $d_{із} > d_2 \geq d_{кр}$, де $d_{кр}$ – критичний діаметр теплової ізоляції **(3 бали)**?

а) зменшаться; б) зростуть; в) не зміняться; г) зростуть, а потім зменшаться.

8. Визначити коефіцієнт ефективності ребра *E*, якщо температура біля його основи 150 ^{o}С, температура оточуючого середовища 350 ^{o}С, а середня температура поверхні ребра 160 ^{o}С **(4 бали)**:

а) 0,91; б) 0,92; в) 0,93; г) 0,94; д)0,95.

9. Де знаходиться напрямна точка, через яку проходять дотичні до температурних кривих у плоскій стінці при її охолодженні (нагріванні), якщо $\text{Bi} \to 0$ **(3 бали)**?

а)на відстані $1/\text{Bi}$ від поверхні; б)на поверхні; в)на нескінченності; г)усередині.

Задача

Через який час почне замерзати вода з температурою 20 ^{o}С у неізольованому трубопроводі діаметром 200 мм при виході з ладу насосів, якщо температура оточуючого середовища -20 ^{o}С, а коефіцієнт тепловіддачі з поверхні трубопроводу 30 Вт/(м^2·К)? Вважати $\text{Bi} \to 0$. Теплоємністю металу труби знехтувати. Прийняти теплоємність води c = 4190 Дж/(кг · К), а густину – ρ = 1000 кг/м^3. Задачу розв’язати аналітично **(8 балів)**

Тестове завдання № 5 (90 хвилин, 33 бали)

1. Якими способами можливе відведення теплоти від обладнання на космічному кораблі **(2 бали)**?

а) вимушеною та вільною конвективною тепловіддачею;

б) вимушеною конвективною тепловіддачею та випромінюванням;

в) вільною конвективною тепловіддачею та випромінюванням;

г) вільною конвективною тепловіддачею.

2. Яке значення має коефіцієнт тепловіддачі при вимушеній конвекції у газах, Вт/(м^2·К) **(2 бали)**?

а) 100 ... 500; б) 1000 ... 10000; в) 5 ... 30; г) 100 … 100000.

3. Який вид має диференціальне рівняння теплопровідності для двовимірної нестаціонарної задачі з внутрішніми джерелами теплоти **(3 бали)**?

а) $0 = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \frac{q_v}{\rho c}$; б) $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0$; в) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right)$; г) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right) + \frac{q_v}{\rho c}$.

4. Як записують граничні умови другого роду (**2 бали**)?

а) $t_{\text{ст}} = f(x, y, z, \tau)$; б) $\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0} = 0$; в) $\alpha(t_{\text{ст}} - t_{\text{р}}) = -\lambda_{\text{ст}}\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_{\text{ст}}$; г) $q_{\text{п}} = f(x, y, z, \tau)$.

5. За яким діаметром слід визначати розрахункову поверхню нагріву трубчастого водо-водяного теплообмінника, якщо використовувати формули для плоскої стінки **(2 бали)**?

а) внутрішнім; б) зовнішнім; в) середньоарифметичним.

6. Яке співвідношення надлишкових температур при перенесенні теплоти через стрижень (λ = 100 Вт/(м·К)) нескінченної довжини квадратного перерізу 10 × 10 мм на відстані 10 мм і 50 мм від його основи? Коефіцієнт тепловіддачі з поверхні стрижня 10 Вт/(м^2·К) **(4 бали)**?

а) 0,34; б) 1,29; в) 1,95; г) 2,99; д) 0,87.

7. Визначити коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^2·К), через плоску ребристу стінку, віднесений до неоребреної поверхні, якщо коефіцієнт тепловіддачі від рідини до стінки 250 Вт/(м^2·К), а від стінки до повітря 12 Вт/(м^2·К). Стінка виконана з чавуну (λ = 63 Вт/(м·К)) товщиною 12 мм. Коефіцієнт оребрення $K_{\text{ор}}$ = 3,8. Коефіцієнт ефективності ребра вважати рівним одиниці **(4 бали)**:

а)132,8; б) 11,4; в) 38,3; г) 224,9; д) 45,6.

8. Де знаходиться напрямна точка, через яку проходять дотичні до температурних кривих у плоскій стінці при її охолодженні (нагріванні), якщо 100 > Bi ≥ 0,1 **(3 бали)**?

а) на поверхні; б) на відстані 1/Bi від поверхні; в) на нескінченності; г) усередині.

9. Регулярний режим охолодження (нагрівання) тіла це процес, який**(3 бали)**:

а) характеризується великим впливом початкового розподілу температури;

б) визначається умовами охолодження на границі тіла і середовища;

в) характеризується тепловою рівновагою тіла та оточуючого середовища;

г) визначається умовами охолодження на границі тіла і середовища, фізичними властивостями тіла та його геометричною формою та розмірами.

Задача

Визначити допустиму силу току, А, через мідний дріт діаметром 8 мм, щоб температура поверхні дроту не перевищувала 70 °С. Коефіцієнт тепловіддачі до оточуючого повітря 10 Вт/(м^2·К), а його температура 20 °С. Питомий електричний опір дроту $\rho = 0{,}0175 \cdot 10^{-6}$ Ом·м **(8 балів)**.

Тестове завдання № 6 (90 хвилин, 33 бали)

1. Шляхом чого переноситься теплота теплопровідністю у металах (**2 бали**)?

а) пружних коливань;

б) дифузії молекул та атомів;

в) дифузії вільних електронів та пружних коливань кристалічних грат;

г) дифузії вільних електронів.

2. Яке значення має коефіцієнт тепловіддачі при вимушеній конвекції у воді, Вт/(м^2·К) (**2 бали**)?

а) 500 ... 10000; б) 50 ... 500; в) 5 ... 30; г) 100 … 100000.

3. Який вид має рівняння стаціонарного тривимірного температурного поля (**2 бали)**?

а) $t = f(x, y, z, \tau)$; б) $t = f(x, y, z)$; в) $t = f(x, y)$; г) $t = f(x)$.

4. З якого боку слід виконувати оребрення поверхні нагріву теплообмінного апарату типу газ-рідина (**2 бали)**?

а) з боку рідини; б) з обох боків; в) з боку газоподібного теплоносія.

5. Яка потужність внутрішніх джерел теплоти, Вт/м^3, у стрижні діаметром 5 мм і довжиною 100 мм, якщо сила струму становить 1 А, а падіння напруги 100 В **(3 бали)**?

а) $5{,}1\times10^6$; б) $5{,}1\times10^7$; в) $5{,}1\times10^8$; г) $5{,}1\times10^3$; д) $5{,}1\times10^2$.

6. Як записують граничні умови для охолодження (нагрівання) необмеженої пластини без внутрішніх джерел теплоти **(3 бали)**?

а) $t_{\text{ст}} = f(x, y, z)$; б) $q_{\text{п}} = f(x, y, z, \tau)$; в) $\left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x}\right)_{x=0} = 0$ і $\left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x}\right)_{x=\delta} = -\frac{\alpha}{\lambda}\vartheta_{x=\delta}$;

г) $\alpha\left(t_{\text{ст}} - t_{\text{р}}\right) = -\lambda_{\text{ст}}\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_{\text{ст}}$.

7. Визначити густину теплового потоку, Вт/м^2, через плоску стінку товщиною δ = 0,003 м з коефіцієнтом теплопровідності λ = 50 Вт/(м · К), якщо з одного боку стінки температура рідини t_1= 100 °С і коефіцієнт тепловіддачі α_1= 1000 Вт/(м^2 · К), а з другого – відповідно t_2= 20 °С і α_2=10 Вт/(м^2 · К) **(4 бали)**:

а) 2549; б) 438; в) 236; г) 1239**;** д) 792.

8. Визначити приведений коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2· К), ребристої стінки, якщо частка площі проміжків між ребрами $F_{\text{с}}/F_{\text{р.с}}$ = 0,1, коефіцієнт ефектив-

ності ребра E = 0,96, а коефіцієнти тепловіддачі α_c = 12 і α_p = 10 Вт/(м^2· К) **(4 бали)**:

а) 2,46; б) 9,84; в) 8,81; г) 3,44; д)12,96.

9. Як записується рівняння другої теореми Кондратьєва **(3 бали)**?

а) $m = \Psi \dfrac{\overline{\alpha} F}{\rho c V}$; б) $\Theta = f(\mathrm{Fo}, \mathrm{Bi}, X, Y, Z)$; в) $\vartheta = \sum_{n=1}^{\infty} A_n U_n e^{-m_n \tau}$; г) $a = K m_\infty$.

Задача

Який коефіцієнт температуропровідності має досліджуваний матеріал у вигляді циліндра діаметром 40 мм і довжиною 100 мм, якщо при охолодженні у водяному термостаті з температурою 20 °С його температура в місці установлення термопари після установлення регулярного режиму зменшилася за $\Delta\tau$ = 10 хв з t_1 = 80 до t_2 = 30 °С **(8 балів)**?

Тестове завдання № 7 (90 хвилин, 33 бали)

1. Шляхом чого переноситься теплота теплопровідністю у рідинах **(2 бали)**?

а) дифузії вільних електронів; б) дифузії молекул та атомів; в) дифузії вільних електронів та пружних коливань кристалічних грат; г) пружних коливань.

2. Що характеризує коефіцієнт температуропровідності?

а) здатність тіл проводити теплоту; б) теплоінерційні властивості тіла; в) теплоємність тіла; в) оптичні властивості тіла **(2 бали)**.

3. Який вид має диференціальне рівняння теплопровідності для одновимірної нестаціонарної задачі з внутрішніми джерелами теплоти **(3 бали)?**

а) $\dfrac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right)$; б) $\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0$; в) $\dfrac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \dfrac{q_v}{\rho c}$; г) $0 = a\left(\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \dfrac{q_v}{\rho c}$.

4. Матеріал з яким коефіцієнтом теплопровідності, Вт/(м·К), доцільно використовувати для ізоляції трубопроводу діаметром 40 мм з коефіцієнтом тепловіддачі на поверхні 10 Вт/(м^2·К) **(4 бали)**:

а) 0,81; б) 0,25; в) 0,67; г) 0,48; д) 0,18.

5. Яке співвідношення між об'ємною q_V та поверхневою q_F густиною тепловиділення для стрижня діаметром *d* і довжиною *l* **(3 бали)**?

а) $q_V / q_F = d / l^2$; б) $q_V / q_F = d / 4$**;** в) $q_V / q_F = 4 / d$; г) $q_V / q_F = l / d^2$.

6. Визначити збільшення теплового потоку через плоску стінку при її оребренні. Вважати коефіцієнти тепловіддачі з обох боків стінки α_1=2000 і α_2 = 20 Вт/(м^2· К) незмінними, а коефіцієнт ефективності ребра 1. Коефіцієнт оребрення $K_{\text{ор}}$ = 3. Термічним опором стінки знехтувати **(4 бали)**.

а) 2,46; б) 3,44; в) 8,81; г) 2,94; д)12,96.

7. Як записується рівняння нестаціонарного температурного поля у безрозмірній формі **(2 бали)**?

а) $\Theta = f(\mathrm{Re}, \mathrm{Bi}, X, Y, Z)$; б) $\Theta = f(\mathrm{Fo}, \mathrm{Bi}, X, Y, Z)$; в) $\Theta = f(\mathrm{Fo}, \mathrm{Bi}, x, y, z)$.

8. Як експериментально визначається темп охолодження **(2 бали)**?

а) $m = \dfrac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{\tau_2 - \tau_1}$; б) $m = \dfrac{\tau_2 - \tau_1}{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}$; в) $m = \dfrac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\tau_2 - \tau_1}$ г) $m = \dfrac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\ln \tau_2 - \ln \tau_1}$.

9. Чому дорівнюють корені характеристичного рівняння $\mathrm{ctg}\mu = \mu / \mathrm{Bi}$ для задачі охолодження (нагрівання) необмеженої пластини, якщо $\mathrm{Bi} \to \infty$ **(3 бали)**?

а) $\mu_n = (n-1)\dfrac{\pi}{2}$; б) $\mu_n = (2n-1)\dfrac{\pi}{2}$; в) $\mu_n = (n-1)\pi$; г) $\mu_n = (3n-1)\dfrac{\pi}{2}$.

Задача

Якої товщини, мм, має бути шар теплової ізоляції ($\lambda_{із}$ = 0,05 Вт/(м · К)), щоб втрати теплоти вільною конвекцією з поверхні електричного водопідігрівника (F = 2,5 м^2) потужністю 2,0 кВт не перевищували 3 %? Температура внутрішньої поверхні міцного корпусу водопідігрівника товщиною $\delta_{м.к}$ = 1 мм з нержавіючої сталі ($\lambda_{м.к}$ = 15 Вт/(м · К)) $t_{ст1}$ = 80 °С. Товщина декоративного корпусу $\delta_{д.к}$ = 0,3 мм ($\lambda_{д.к}$ = 45 Вт/(м · К)). Температура оточуючого повітря $t_{пов}$ = 20 °С. Коефіцієнт тепловіддачі до оточуючого повітря α_2 = 10 Вт/(м^2 · К). Використати формули для плоскої стінки **(8 балів)**.

Тестове завдання № 8 (90 хвилин, 33 бали)

1. Шляхом чого переноситься теплота теплопровідністю у твердих тілах-діелектриках **(2 бали)**?

а) дифузії вільних електронів; б) дифузії молекул та атомів; в) дифузії вільних електронів та пружних коливань кристалічних грат; г) пружних коливань.

2. Коефіцієнт теплопередачі через плоску стінку**(2 бали)**:

а) дорівнює сумі коефіцієнтів тепловіддачі; б) менше меншого з коефіцієнтів тепловіддачі; в) більше більшого з коефіцієнтів тепловіддачі; г) більше меншого з коефіцієнтів тепловіддачі.

3. До якої межі слід оребрювати плоску поверхню, якщо $\alpha_1 << \alpha_2$ **(2 бали)**?

а) $\alpha_1 F_1 = \alpha_2 F_2$; б) $\alpha_1 F_1 > \alpha_2 F_2$; в) $\alpha_1 F_1 = 0{,}5\,\alpha_2 F_2$; г) $\alpha_1 F_2 = \alpha_2 F_1$.

4. Який вид має диференціальне рівняння теплопровідності для стаціонарної теплопровідності необмеженої пластини при наявності внутрішніх джерел теплоти **(3 бали)**?

а) $\dfrac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \dfrac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right)$; б) $\dfrac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \dfrac{q_v}{\rho c}$; в) $\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0$; г) $0 = a\left(\dfrac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \dfrac{q_v}{\rho c}$.

5. Який тепловий потік, Вт, відводиться від поверхні батареї опалення вільною конвекцією, якщо поверхня батареї 1 м^2, коефіцієнт тепловіддачі 10 Вт/(м^2·К), температура поверхні батареї 100 °С, а оточуючого повітря 20 °С **(3 бали)?**

а) 1000; б) 800; в) 5000; г) 5000; д) 5000.

6. Визначити повний термічний опір, (м^2·К)/Вт, теплопередачі через плоску одношарову стінку (λ = 100 Вт/(м·К)) товщиною 100 мм, якщо коефіцієнти тепловіддачі з поверхонь стінки α_1 = 50 Вт/(м^2 · К) та α_2 = 1000 Вт/(м^2 · К) **(4 бали)**:

а)0,012; б) 1,054; в) 0,022; г)10,232; д)0,121.

7. Яка температура на поверхні стрижня (λ = 47 Вт/(м·К)) діаметром d = 10 мм, якщо температура на осі t_0 = 500 °С, а потужність внутрішніх джерел теплоти $q_V = 6 \times 10^7$ Вт/м^3 **(4 бали)**?

а) $t_{пов}$ = 192 °С; б) $t_{пов}$ = 392 °С; в) $t_{пов}$ = 592 °С; г) $t_{пов}$ = 492 °С; д) $t_{пов}$ = 792 °С.

8. За яким законом змінюється натуральний логарифм надлишкової температури у часі для всіх точок тіла при регулярному режимі **(2 бали)**?

а) експоненціальним; б) синусоїдальним; в) лінійним; г)степеневим.

9. Чому дорівнює коефіцієнт нерівномірності температури у тілі при $\mathrm{Bi} \to \infty$ **(3 бали)**?

а) $\Psi = 1$; б) $\Psi = 0$; в) $1 > \Psi > 0$; г) $\Psi \to \infty$.

Задача

Який коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), має досліджуваний матеріал у вигляді кулі діаметром 100 мм з повною теплоємністю 200 Дж/К, якщо при охолодженні у водяному термостаті з температурою 20 °С його температура в місці установлення термопари після установлення регулярного режиму зменшилася за $\Delta\tau$ = 10 хв з t_1 = 60 до t_2 = 30 °С **(8 балів)**?

Тестове завдання № 9 (90 хвилин, 33 бали)

1. Що характеризує коефіцієнт теплопровідності **(2 бали)**?

а) здатність тіл проводити теплоту; б) теплоінерційні властивості тіла;

в) оптичні властивості тіла; г) теплоємність тіла.

2. До якої температури ближче температура поверхні батареї опалення **(2 бали)**?

а) до температури оточуючого повітря; б) до температури гарячої води; в) приблизно дорівнює середньоарифметичному значенню температур повітря та води.

3. Який вид має диференціальне рівняння теплопровідності для одновимірної стаціонарної задачі без внутрішніх джерел теплоти **(3 бали)**?

а) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right)$; б) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \frac{q_v}{\rho c}$; в) $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0$; г) $0 = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \frac{q_v}{\rho c}$.

4. Як записують граничні умови для стрижня нескінченної довжини **(3 бали)**?

а) $q_п = f(x, y, z)$; б) $x = 0$ $\vartheta = \vartheta_0$, $x = \infty$ $\vartheta = 0$; в) $\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0} = 0$; г) $t_{ст} = f(x, y, z)$.

5. Визначити коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), матеріалу стрижня довжиною 100 мм і перерізом 100 мм^2, якщо уздовж нього переноситься тепловий потік 50 Вт, а перепад температури становить 1000 ^{o}С **(3 бали)**:

а) 40; б) 80; в) 50; г) 30; д) 210.

6. У скільки разів лінійний термічний опір з боку труби з зовнішнім діаметром 55 мм, що омивається газом з коефіцієнтом тепловіддачі α_1 = 100 Вт/(м^2 · К), більше лінійного термічного опору з боку води з α_2 = 1100 Вт/(м^2 · К), де внутрішній діаметр труби 50 мм **(3 бали)**?

а) 10; б) 20; в) 15; г) 5; д) 2,5.

7. Визначити збільшення теплового потоку через плоску стінку при її оребренні. Вважати коефіцієнти тепловіддачі з обох боків стінки α_1=2000 і α_2 = 20 Вт/(м^2 · К) незмінними, а коефіцієнт ефективності ребра 1. Коефіцієнт оребрення $K_{ор}$ = 3. Термічним опором стінки знехтувати **(4 бали)**.

а) 2,17; б) 1,53; в) 4,13; г) 5,87; д) 2,94.

8. Як визначається безрозмірна температура при охолодженні (нагріванні) циліндра кінцевої довжини **(2 бали)**?

а) $\Theta = \Theta_x \Theta_y \Theta_z$; б) $\Theta = \Theta_x \Theta_y$; в) $\Theta = \Theta_z \Theta_R$; г) $\Theta = \Theta_y \Theta_z$.

9. В якому діапазоні змінюється значення кореня характеристичного рівняння $\mathrm{ctg}\mu = \mu/\mathrm{Bi}$ для задачі охолодження (нагрівання) необмеженої пластини при $\mathrm{Fo} \geq 0{,}3$, якщо Bi змінюється від нуля до нескінченності **(3 бали)**?

а) $0 \leq \mu \leq \pi$; б) $0 \leq \mu \leq 3\pi/2$; в) $0 \leq \mu \leq 5\pi/2$; г) $0 \leq \mu \leq \pi/2$.

Задача

Якої товщини має бути шар теплової ізоляції ($\lambda_{із}$= 0,05 Вт/(м · К)) , щоб втрати теплоти вільною конвекцією з поверхні електричного водопідігрівника (F = 2,5 м^2) потужністю 2,0 кВт не перевищували 3 %? Товщина міцного корпусу водопідігрівника $\delta_{м.к}$ = 1 мм з нержавіючої сталі ($\lambda_{м.к}$= 15 Вт/(м · К)), а декоративного корпусу $\delta_{д.к}$ = 0,3 мм ($\lambda_{д.к}$ = 45 Вт/(м · К)). Температура води $t_в$ = 85 ^{o}С, а оточуючого повітря $t_{пов}$= 20 ^{o}С. Коефіцієнт тепловіддачі до міцного корпусу α_1= 400 Вт/(м^2 · К), а до оточуючого повітря α_2= 10 Вт/(м^2 · К). Використати формули для плоскої стінки **(8 балів)**.

Тестове завдання № 10 (90 хвилин, 33 бали)

1. Як переноситься теплота у повітряному шарі віконної рами (**2 бали**)?

а) вимушеною конвективною тепловіддачею; б) вимушеною конвективною тепловіддачею та випромінюванням; в) вільною конвективною тепловіддачею та випромінюванням; г) теплопровідністю та випромінюванням.

2. Що визначає термічний опір плоскої стінки **(2 бали)**?

а) падіння температури на одиницю густини теплового потоку; б) падіння температури на одиницю градієнту температури; в) теплоінерційні властивості стінки; г) падіння температури на одиницю довжини нормалі до поверхні стінки.

3. При оребренні слід вибирати ребра **(2 бали)**:

а) з більшим відношенням периметра ребра u до його перерізу f; б) з меншим відношенням периметра ребра u до його перерізу f; в) відношення u/f не впливає на ефективність роботи ребра.

4. Як записують граничні умови третього роду **(3 бали)**?

а) $t_{ст} = f(x, y, z, \tau)$; б) $\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0} = 0$; в) $\alpha(t_{ст} - t_р) = -\lambda_{ст}\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_{ст}$; г) $q_п = f(x, y, z, \tau)$.

5. Визначити тепловий потік, Вт, через одношарову плоску цегляну стінку (λ = 0,85 Вт/(м·К)) товщиною 200 мм та площею 10 м^2 з температурами на поверхнях 20 і 10 ^{o}С **(3 бали)**:

а) 525; б) 625; в) 325; г) 125; д) 425.

6. Визначити коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^2·К), через плоску одношарову стінку (λ = 100 Вт/(м·К)) товщиною 100 мм, якщо коефіцієнти тепловіддачі з поверхонь стінки α_1 = 50 Вт/(м^2 · К) та α_2 = 1000 Вт/(м^2 · К) **(3 бали)**:

а) 900; б) 95,5; в) 45,5; г) 12,5; а) 121.

7. Визначити тепловий потік, Вт, через стрижень нескінченної довжини (λ = 100 Вт/(м·К)) перерізом 10×10 мм, якщо коефіцієнт тепловіддачі з поверхні стрижня 9 Вт/(м^2·К), а надлишкова температура біля його основи 1000 ^{o}С **(4 бали)**:

а) 60; б) 100; в) 300; г) 89; д) 3234.

8. Що характеризує критерій Біо **(2 бали)**?

а) співвідношення зовнішнього та внутрішнього термічного опорів стінки;

б) співвідношення внутрішнього та зовнішнього термічного опорів стінки;

в) теплообмін на границі стінка-рідина.

9. Який коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м · К)), має мати модель діаметром 100 мм для вивчення процесу нагрівання вала (λ = 50 Вт/(м · К)) діаметром 500 мм? Коефіцієнт тепловіддачі для моделі 15, а для вала 10 Вт/(м^2 · К) (**4 бали**):

а) 0,55; б) 280; в) 120; г) 0,06; д) 15 .

Задача

Визначити час, с, через який почне розтавати куля з льоду діаметром 50 мм з температурою – 10 ^{o}С, яка розміщена у приміщенні з температурою 20 ^{o}С. Теплофізичні характеристики льоду: λ= 2,25 Вт/(м·К); a = 1,08·10^{-6} м^2/с. Коефіцієнт тепловіддачі до поверхні кулі α = 8,0 Вт/(м^2·К). Задачу розв'язати аналітично **(8 балів)**.

Тестове завдання № 11 (90 хвилин, 33 бали)

1. Як втрачається теплота з поверхні стіни будинку при відсутності вітру **(2 бали)**?

а) вимушеною конвективною тепловіддачею; б) вільною конвективною тепловіддачею та випромінюванням; в) вимушеною конвективною тепловіддачею та випромінюванням; г) випромінюванням.

2. Коефіцієнт теплопровідності чисельно дорівнює **(2 бали)**:

а) температурному градієнту; б) густині теплового потоку; в) густині теплового потоку при $\mathrm{grad}t = 1$ К/м; г) температурному градієнту при густині теплового потоку $q = 1$ Вт/м^2.

3. Як записують граничні умови для стаціонарної теплопровідності плоскої пластини при наявності внутрішніх джерел теплоти **(3 бали)**?

а) $t_{\text{ст}} = f(x, y, z, \tau)$; г) $q_{\text{п}} = f(x, y, z, \tau)$; б) $\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0} = 0$ і $\alpha(t_{\text{ст}} - t_{\text{р}}) = -\lambda_{\text{ст}}\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=\delta}$;

в) $\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=\delta} = 0$ і $\alpha(t_{\text{ст}} - t_{\text{р}}) = -\lambda_{\text{ст}}\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0}$.

4. Розрахувати коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м · К), досліджуваного матеріалу у формі диску діаметром 0,1 м і товщиною 0,005 м, уздовж вісі якого пропускається тепловий потік 50 Вт, а температури гарячої і холодної поверхонь відповідно 100 °С і 20 °С. Бокова поверхня диску теплоізольована **(4 бали)**:

а) 40 б) 300; в) 0,4; г) 0,05; д) 0,8.

5. Визначити тепловий потік, Вт, через трубу 32 × 3 мм (λ = 50 Вт/(м·К)) довжиною 5 м, якщо температура на внутрішній поверхні 100 °С, а на зовнішній 99,5 °С **(3 бали)**:

а) 3783; б) 2756; в) 567,9; г) 12,5; д) 1342.

6. Визначити тепловий потік, Вт, через пряме ребро (λ= 50 Вт/(м·К)) постійної товщини δ = 6 мм, висотою h = 50 мм і довжиною l = 100 мм, якщо коефіцієнт тепловіддачі з поверхні ребра 10 Вт/(м^2·К), а надлишкова температура біля його основи 100 °С. Тепловіддачу з торця ребра не враховувати **(4 бали)**:

а) 100; б) 20; в) 30; г) 40 ; д) 10.

7. Як записується рівняння нестаціонарного температурного поля необмеженої пластини без внутрішніх джерел теплоти у безрозмірній формі при Fo ≥ 0,3 **(2 бали)**?

а) $\Theta = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\mu_n X)\exp(-\mu_n^2 \mathrm{Fo})$; б) $\Theta = A_n \cos(\mu_n X)\exp(-\mu_n^2 \mathrm{Fo})$;

в) $\Theta = A_1 \cos(\mu_1 X)\exp(-\mu_1^2 \mathrm{Fo})$; г) $\Theta = \exp(-\mathrm{BiFo})$.

8. Темп охолодження характеризує **(2 бали)**:

а) відношення середньої по поверхні температури до середньої за об'ємом температури тіла; б) відносну зміну надлишкової температури у часі; в) відносну зміну температури у часі; г) зміну температури у просторі.

9. Як змінюється коефіцієнт нерівномірності температури у тілі при 100> Bi ≥0,1 **(3 бали)**?

а) $\Psi = 1$; б) $\Psi = 0$; в) $\Psi \to \infty$; г) 1 > Ψ > 0.

Задача

Визначити площу поверхні нагріву батареї опалення, якщо втрата теплоти кімнатою 1 кВт. Товщина чавунної стінки батареї 5 мм ($\lambda_{\text{ст}}$ = 90 Вт/(м·К)). Середня температура гарячої води 80 °С. Коефіцієнт тепловіддачі для води 2000, а для повітря 6,4 Вт/(м^2·К). Температура оточуючого повітря 20 °С. Коефіцієнт теплопе-

редачі розрахувати за формулою плоскої стінки. Тепловіддачу випромінюванням не враховувати **(8 балів)**.

Тестове завдання № 12 (90 хвилин, 33 бали)

1. Як втрачається теплота з поверхні стіни будинку у вітряну погоду (**2 бали**)?

а) вимушеною конвективною тепловіддачею; б) вимушеною конвективною тепловіддачею та випромінюванням; в) вільною конвективною тепловіддачею та випромінюванням; г) випромінюванням.

2. Як змінюється коефіцієнт теплопровідності води зі зростанням температури **(2 бали)**?

а) зменшується; б) зростає; в) спочатку зменшується, а потім зростає; г) спочатку зростає, а потім зменшується.

3. Як записують граничні умови для стрижня кінцевої довжини **(3 бали)**?

а) $q_{\text{п}} = f(x, y, z)$; б) $\left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x}\right)_{x=0} = 0$; в) $x=0$ $\vartheta = \vartheta_0$, $x=l$ $\left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x}\right)_{x=l} = -\frac{\alpha_2}{\lambda}\vartheta_l$;

г) $t_{\text{ст}} = f(x, y, z)$; д) $x = l$ $\vartheta = \vartheta_0$, $x = 0$ $\left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x}\right)_{x=0} = -\frac{\alpha_2}{\lambda}\vartheta_l$.

4. Який вид має диференціальне рівняння теплопровідності для стаціонарної теплопровідності плоскої пластини при наявності внутрішніх джерел теплоти **(3 бали)**?

а) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right)$; б) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \frac{q_v}{\rho c}$; в) $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0$; г) $0 = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) + \frac{q_v}{\rho c}$.

5. Визначити коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м · К), досліджуваного матеріалу у формі порожнистого циліндра довжиною 1,0 м, внутрішнім діаметром 20 мм і зовнішнім діаметром 40 мм, якщо температура на внутрішній поверхні 160 °С, а на зовнішній 60 °С. Тепловий потік через бокову поверхню циліндра 70 Вт **(4 бали)**.

а) 390; б) 310 ; в) 45; г) 0,077; д) 0,66.

6. Визначити температуру, °С, на осі стрижня (λ = 47 Вт/(м·К)) діаметром d = 10 мм, якщо температура на поверхні $t_{\text{пов}}$ = 500 °С, а потужність внутрішніх джерел теплоти $q_V = 6 \times 10^7$ Вт/м^3 **(3 бали)**:

а) t_0 = 708; б) t_0 = 608; в) t_0 = 508; г) t_0 = 408; д) t_0 = 308.

7. Як записується рівняння нестаціонарного температурного поля необмеженої пластини без внутрішніх джерел теплоти у безрозмірній формі **(2 бали)**?

а) $\Theta = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\mu_n X)\exp(-\mu_n^2 \text{Fo})$; б) $\Theta = A_1 \cos(\mu_1 X)\exp(-\mu_1^2 \text{Fo})$;

в) $\Theta = A_n \cos(\mu_n X)\exp(-\mu_n^2 \text{Fo})$; г) $\Theta = \exp(-\text{BiFo})$.

8. Через який проміжок часу, с, встановиться регулярний режим охолодження вала діаметром 200 мм, якщо відомо, що цей режим наступає при числі

Фур'є $Fo \geq 0{,}25$? Коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність і густина матеріалу вала відповідно λ = 50 Вт/(м · К), c = 480 Дж/(кг · К), ρ = 7800 кг/м^3 **(3 бали)**?

а) 235 с; б) 25 с; в) 1207 с; г) 323 с; д) 187 с.

9. Чому дорівнює коефіцієнт нерівномірності температури при $Bi \to 0$ **(3бали)**?

а) $\Psi \to \infty$; б) $\Psi = 0$; в) $1 > \Psi > 0$; г) $\Psi = 1$.

Задача

Визначити час охолодження, с, листа сталі товщиною 10 мм від початкової температури 600 ^{o}C до температури 100 ^{o}C у повітрі з температурою 20 ^{o}C. Теплофізичні характеристики сталі: λ= 45 Вт/(м·К); ρ = 7900 кг/м^3; c = 0,46 кДж/(кг·К). Коефіцієнт тепловіддачі на поверхні листа α = 30 Вт/(м^2·К). Задачу розв’язати аналітично.**(8 балів)**.

Змістовий модуль № 2 **«Конвективний теплообмін»**

Тестове завдання № 1 (90 хвилин, 33 бали)

1. Як записується диференціальне рівняння енергії **(2 бали)**?

а) $\rho\frac{d\vec{w}}{d\tau}=\rho\vec{g}-\nabla p+\mu\nabla^2\vec{w}$; б) $\frac{dt}{d\tau}=a\nabla^2 t+\frac{q_v}{\rho c_p}$; в) $\alpha=-\frac{\lambda}{t_c-t_p}\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_{n=0}$;

г) $\frac{\partial\rho}{\partial\tau}+\frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z}=0$.

2. Які умови входять до умов однозначності для стаціонарної задачі**(2 бали)**?

а) геометричні, фізичні та початкові;б) геометричні, фізичні, граничні та початкові;

в) геометричні та фізичні; г) геометричні, фізичні та граничні.

3. Чому дорівнює визначальний розмір (еквівалентний діаметр) кільцевого каналу зовнішнім діаметром D та внутрішнім діаметром d **(2 бали)**?

а) $4D^2/d$; б) $D+d$; в) $D-d$; г) $\pi(D-d)$.

4. Чому дорівнює середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), вільною конвекцією від поверхні горизонтальної труби довжиною 1 м і діаметром 0,1 м до повітря (λ = 2,50 · 10^{-2} Вт/(м · К)), якщо критерій Нусельта $\overline{\mathrm{Nu}}_{pd}$ = 40 **(3 бали)**?

а) 15; б) 20; в) 5; г) 10; д) 40.

5. Які сили відносять до масових **(2 бали)**?

а) сили, які прикладені до всіх частинок рідини та зумовлені зовнішніми силовими полями; б)сили, які прикладені до поверхні контрольного об'єму рідини та виникають внаслідок дії оточуючої рідини або твердих тіл; в) сили, які прикладені як до всіх частинок рідини, так і до поверхні контрольного об'єму рідини; г)сили тертя та тиску.

6. Який вид має критеріальне рівняння для визначення тепловіддачі при вимушеній конвекції та турбулентному режимі руху рідини **(2 бали)**?

а) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Gr},\mathrm{Pr})$; б) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Re},\mathrm{Gr},\mathrm{Pr})$; в) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Re},\mathrm{Pr})$; г) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Eu},\mathrm{Pr})$

7. Який режим руху при омиванні плоскої поверхні довжиною 200 мм повітрям, яке на вході має температуру t = 20 °С та швидкість w = 10 м/с **(4 бали)**?

а) ламінарний; б) турбулентний; в) перехідний; г) в'язкісний

8. Яке співвідношення між коефіцієнтами тепловіддачі, що віднесені до середньологарифмічного та середньоарифметичного температурних напорів між стінкою та рідиною при русі у каналі, якщо середня температура стінки 150 °С, а температура рідини на вході та виході відповідно 50 і 100 °С **(4 бали)**?

а)14,7; б) 0,45; в) 1,04; г) 0,94; д) 3,82.

9. Від яких факторів залежить поправка ε_l, яка враховує зміну коефіцієнта тепловіддачі на початковій термічній ділянці при турбулентній течії в каналах **(2 бали)**?

а) від довжини труби та числа Прандтля; б) від відношення l/d та числа Ейлера;

в) від еквівалентного діаметра каналу та числа Нусельта; г) від відношення l/d та числа Рейнольдса.

10. З чим пов'язаний відрив примежового шару та утворення вихорів у кормовій частині труби при її поперечному обтіканні рідиною **(2 бали)**?

а) зростанням швидкості обтікання та зменшенням статичного тиску у поверхні;

б) зростанням статичного тиску уздовж потоку та гальмуванням рідини стінкою;

в) зменшенням числа Рейнольда; г) зростанням числа Ейлера.

Задача

Визначити втрати теплоти, Вт, вільною конвекцією з поверхні теплової ізоляції вертикального паропроводу довжиною 4 м до повітря з температурою 10 °С. Діаметр теплової ізоляції 100 мм, а температура її поверхні 40 °С **(8 балів)**.

Тестове завдання № 2 (90 хвилин, 33 бали)

1. Як записується диференціальне рівняння тепловіддачі **(2 бали)**?

а) $\rho\dfrac{d\vec{w}}{d\tau} = \rho\vec{g} - \nabla p + \mu\nabla^2\vec{w}$; б) $\dfrac{dt}{d\tau} = a\nabla^2 t + \dfrac{q_v}{\rho c_p}$; в) $\alpha = -\dfrac{\lambda}{t_\text{с} - t_\text{р}}\left(\dfrac{\partial t}{\partial n}\right)_{n=0}$;

г) $\dfrac{\partial\rho}{\partial\tau} + \dfrac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \dfrac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \dfrac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0$.

2. Які умови входять до умов однозначності (крайових умов) для нестаціонарної задачі **(2 бали)**?

а) геометричні, фізичні та початкові; б) геометричні, фізичні, граничні та початкові;

в) геометричні, фізичні та граничні; г) геометричні та фізичні.

3. За якою формулою розраховують еквівалентний діаметр каналу перерізом f та периметром p **(2 бали)**?

а) f/p; б) $4p^2/\sqrt{f}$; в) $4f/p$; г) ; p/f.

4. Чому дорівнює середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), вільною конвекцією від поверхні вертикальної труби довжиною 1 м і діаметром 0,1 м до повітря (λ = 2,50 · 10^{-2} Вт/(м · К)), якщо критерій Нусельта $\overline{\text{Nu}}_{\text{р}h}$ = 400 **(3 бали)**?

а) 15; б) 20; в) 10; г) 5; д) 40.

5. Які сили відносять до поверхневих **(2 бали)**?

а) сили, які прикладені до всіх частинок рідини; б) сили тяжіння;

в) електромагнітні сили; г) сили тертя та зовнішнього тиску.

6. Які числа подібності є визначальними **(2 бали)**?

а) Nu, Gr, Pr; б) Re, Nu, Pr; в) Re, Gr, Pr; г) Eu, Gr, Pr.

7. На якій відстані, мм, від вхідної кромки плоскої поверхні настає турбулентний режим руху повітря, яке на вході має температуру $t = 20$ °С та швидкість $w = 10$ м/с **(4 бали)**?

а) $x < 134$; б) $x > 151$; в) $x < 96$; г) $x > 1256$; д) $x > 13$.

8. Як залежить середній коефіцієнт тепловіддачі від діаметра каналу при турбулентному режимі течії теплоносія, якщо відповідне рівняння подібності має вигляд $\overline{\mathrm{Nu}}_{\mathrm{p}d} = C\,\mathrm{Re}_{\mathrm{p}d}^{0,8}$ **(4 бали)**?

а) $\alpha \approx d^{0,8}$; б) $\alpha \approx d^{0,2}$; в) $\alpha \approx d^{0,8}$; г) $\alpha \approx d^{-0,2}$.

9. Чому дорівнює приблизне значення кута відриву ламінарного примежового шару при поперечному обтіканні труби **(2 бали)**?

а) $\varphi \approx 46^{\circ}$; б) $\varphi \approx 82^{\circ}$; в) $\varphi \approx 140^{\circ}$; г) $\varphi \approx 140^{\circ}$.

10. Які основні режими омивання та тепловіддачі спостерігаються при поперечному омиванні пучків труб **(2 бали)**?

а) в'язкісно-гравітаційний та турбулентний;

б) ламінарний, змішаний та турбулентний;

в) ламінарний та турбулентний;

г) ламінарний, перехідний та турбулентний.

Задача

Визначити втрати теплоти, Вт, вільною конвекцією з поверхні теплової ізоляції горизонтального паропроводу довжиною 4 м до повітря з температурою 10 °С. Діаметр теплової ізоляції 100 мм, а температура її поверхні 40 °С **(8 балів)**.

Тестове завдання № 3 (90 хвилин, 33 бали)

1. Як записується диференціальне рівняння руху **(2 бали)**?

а) $\rho \dfrac{d\vec{w}}{d\tau} = \rho\vec{g} - \nabla p + \mu\nabla^2\vec{w}$; б) $\dfrac{dt}{d\tau} = a\nabla^2 t + \dfrac{q_v}{\rho c_p}$; в) $\alpha = -\dfrac{\lambda}{t_{\mathrm{c}} - t_{\mathrm{p}}}\left(\dfrac{\partial t}{\partial n}\right)_{n=0}$;

г) $\dfrac{\partial\rho}{\partial\tau} + \dfrac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \dfrac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \dfrac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0$.

2. Які фізичні явища є аналогічними **(2 бали)**?

а) теплопровідності, молярної дифузії, електропровідності, руху рідини при ламінарному русі; б) теплопровідності, молекулярної дифузії, електропровідності, руху рідини при турбулентному русі; в) теплопровідності, молекулярної дифузії, електропровідності, кипіння та конденсації; г) теплопровідності, молекулярної дифузії, електропровідності, руху рідини при ламінарному русі.

3. Чому дорівнює визначальний розмір (еквівалентний діаметр) каналу при поздовжньому омиванні пучка труб діаметром d з розміщенням труб за вершинами рівнобічного трикутника з кроком s **(2 бали)**?

а) $\dfrac{2s^2\sin 60^0 + 0{,}5\pi d^2}{3(s-d) + 0{,}5\pi d}$; б) $\dfrac{2s^2\sin 60^0 - 0{,}5\pi d^2}{3(s-d) - 0{,}5\pi d}$; в) $\dfrac{2s^2\sin 60^0 - 0{,}5\pi d^2}{3(s-d) + 0{,}5\pi d}$.

4. Визначити середній коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м^2·К), від продуктів згоряння до стінки газоходу прямокутного перерізу розміром 500×700 мм, якщо число Нусельта, знайдене з рівняння подібності, $\overline{\mathrm{Nu}}_{pd}$ = 1000, а коефіцієнт теплопровідності продуктів згоряння при визначальній температурі λ = 4,12·10^{-2} Вт/(м·К) **(3 бали)**.

а)14,1; б) 9023,7; в) 540,1; г) 174,9; д) 70,6.

5. За рахунок чого виникає вимушений конвективний рух рідини **(2 бали)**?

а) зовнішніх поверхневих сил; б) неоднорідності температурного поля; в) неоднорідності поля концентрацій; г) неоднорідності розподілу температури в полі земного тяжіння.

6. Які числа подібності є визначуваними **(2 бали)**?

а) Gr, Pr; б) Re, Pr; в) Eu, Nu; г) Ar, Pr.

7. Яка товщина гідродинамічного примежового шару δ на відстані x = 0,1 м від переднього краю пластини при омиванні ламінарним потоком води швидкістю w_0 = 1 м/с з температурою 20 °С **(4 бали)**?

а) 0,871×10^{-3} м; б) 3,213×10^{-3} м; в) 1,472×10^{-3} м; г) 10,156×10^{-3} м; д) 0,018×10^{-3} м.

8. Який режим руху повітря у трубі внутрішнім діаметром 100 мм, якщо його швидкість 15 м/с, а температура 100 °С **(4 бали)**?

а) ламінарний; б) в'язкісний; в) перехідний; г) турбулентний.

9. Чому дорівнює приблизне значення кута відриву турбулентного примежового шару при поперечному обтіканні труби **(2 бали)**?

а) φ ≈46°; б) φ ≈ 82°; в) φ ≈ 140°; г) φ ≈ 140°.

10. Яку частку становить тепловіддача першого ряду у коридорних та шахових пучках при їх поперечному омиванні від тепловіддачі третього та наступних рядів **(2 бали)**?

а) 45 %; б) 60 %; в) 70 %; г) 90 %.

Задача

Визначити густину теплового потоку, Вт/м^2, вільною конвекцією у повітряному прошарку товщиною 40 мм з температурами поверхонь 20 і 0 °С **(8 балів)**.

Тестове завдання № 4 (90 хвилин, 33 бали)

1. Як записується диференціальне рівняння суцільності **(2 бали)**?

а) $\rho\dfrac{d\vec{w}}{d\tau} = \rho\vec{g} - \nabla p + \mu\nabla^2\vec{w}$; б) $\dfrac{dt}{d\tau} = a\nabla^2 t + \dfrac{q_v}{\rho c_p}$; в) $\alpha = -\dfrac{\lambda}{t_\text{с} - t_\text{р}}\left(\dfrac{\partial t}{\partial n}\right)_{n=0}$;

г) $\dfrac{\partial\rho}{\partial\tau} + \dfrac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \dfrac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \dfrac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0$.

2. Аналогічні фізичні явища це явища, які **(2 бали)**:

а) описуються однаковими за формою та фізичним змістом диференціальними рівняннями; б) описуються однаковими за формою, але різними за фізичним змістом диференціальними рівняннями; в) описуються однаковими за фізичним

змістом, але різними за формою диференціальними рівняннями; г) описуються однаковими за формою та фізичним змістом диференціальними рівняннями та умовами однозначності.

3. Чому дорівнює визначальний розмір (еквівалентний діаметр) каналу при поздовжньому омиванні пучка труб діаметром d з розміщенням труб за вершинами квадрата з кроком s **(2 бали)**?

а) $\frac{4s^2+\pi d^2}{4(s-d)+\pi d}$; б) $\frac{2s^2-\pi d^2}{2(s-d)+\pi d}$; в) $\frac{4s^2-\pi d^2}{4(s-d)-\pi d}$; г) $\frac{4s^2-\pi d^2}{4(s-d)+\pi d}$.

4. Визначити значення числа Рейнольдса для течії води усередині труби діаметром 32 × 3 мм, якщо її витрата становить 3600 кг/год. Температура води на вході до труби 80 °С, а на виході 40 °С **(3 бали)**.

а) $0{,}871\times10^6$; б) $0{,}34\times10^4$; в) 1980; г) $1{,}042\times10^5$; д) $1{,}123\times10^4$.

5. За рахунок чого виникає гравітаційна вільна конвекція **(2 бали)**?

а) зовнішніх поверхневих сил; б) неоднорідності температурного поля;

в) неоднорідності поля концентрацій; г) неоднорідності розподілу температури в полі земного тяжіння.

6. Який загальний вид має рівняння подібності для явищ тепловіддачі **(2 бали)**?

а) $\mathrm{Re}=f(\mathrm{Nu},\mathrm{Gr},\mathrm{Pr})$; б) $\mathrm{Eu}=f(\mathrm{Re},\mathrm{Pr})$; в) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Re},\mathrm{Gr},\mathrm{Pr})$; г) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Eu},\mathrm{Gr},\mathrm{Re})$.

7. Яка товщина гідродинамічного примежового шару δ на відстані $x = 0{,}1$ м від переднього краю пластини при омиванні ламінарним потоком повітря швидкістю $w_0 = 10$ м/с з температурою 20 °С **(4 бали)**?

а) $0{,}871\times10^{-3}$ м; б) $3{,}213\times10^{-3}$ м; в) $2{,}567\times10^{-3}$ м; г) $1{,}801\times10^{-3}$ м; д) $0{,}018\times10^{-3}$ м.

8.Який режим руху води у трубі внутрішнім діаметром 22 мм, яка зігнута у виді змійовика діаметром 400 мм? Температура води 80 °С, а її швидкість 1 м/с **(4 бали)**:

а) ламінарний без вторинної циркуляції; б) ламінарний з вторинною циркуляцією;

в) турбулентний з вторинною циркуляцією; г) турбулентний без циркуляції.

9. При якому куті спостерігається максимум тепловіддачі на поверхні труб для другого та наступних рядів коридорного пучка при поперечному омиванні **(2 бали)**?

а) $\varphi = 0^\circ$; б) $\varphi \approx 50^\circ$; в) $\varphi \approx 180^\circ$; г) $\varphi \approx 200^\circ$.

10. Яку частку становить тепловіддача другого ряду у коридорних пучках при їх поперечному омиванні від тепловіддачі третього та наступних рядів?

а) 45 %; б) 60 %; в) 70 %; г) 90 %.

Задача

Знайти густину теплового потоку, Вт, від плоскої поверхні довжиною l=1000 мм та шириною b = 400 мм з температурою 100 °С до повітря, яке на вході до поверхні має температуру 20 °С та швидкість w = 10 м/с при поздовжньому омиванні **(8 балів)**.

Тестове завдання № 5 (90 хвилин, 33 бали)

1. Фізичні явища одного класу це явища, які **(2 бали)**:

а) описуються однаковими за формою та фізичним змістом диференціальними рівняннями; б) описуються однаковими за формою, але різними за фізичним змістом диференціальними рівняннями; в) описуються однаковими за фізичним змістом, але різними за формою диференціальними рівняннями; г) описуються однаковими за формою та змістом диференціальними рівняннями та умовами однозначності.

2. Що характеризує критерій Рейнольда **(2 бали)**?

а) інтенсивність конвективного теплообміну; б) режим руху рідини; в) фізичні властивості рідини; г) підйомну силу у рідині; д) співвідношення сил тиску та сил інерції.

3. Гідродинамічний примежовий шар це тонкий пристінний шар, у якому **(2 бали)**:

а) температура рідини змінюється від температури стінки до температури на віддаленні від неї; б) швидкість рідини змінюється від нуля на стінці до швидкості незбуреного потоку; в) швидкість рідини змінюється від швидкості на вході до швидкості на віддаленні від стінки; г) температура рідини змінюється від температури на вході до температури на віддаленні від стінки.

4. Визначити значення числа Нусельта для течії води усередині труби діаметром 32 × 3 мм і довжиною 2 м. Середня температура води 60 °С. Температура стінки труби 20 °С. Тепловий потік від води до стінки труби становить 27,86 кВт **(3 бали)**.

а) $\mathrm{Nu}=8{,}71\times10^{6}$; б) $\mathrm{Nu}=34{,}3\times10^{4}$; в) $\mathrm{Nu}=1980{,}7$; г) $\mathrm{Nu}=168{,}2$; д) $\mathrm{Nu}=30{,}9$.

5. Як записується інтегральне рівняння теплового примежового шару при вимушеному поздовжньому омиванні плоскої поверхні **(2 бали)**?

а) $\frac{d}{dx}\int_0^k w_x(t_0-t)dy=-\frac{q_c}{\rho c_p}$; б) $\frac{dt}{d\tau}=a\nabla^2 t+\frac{q_v}{\rho c_p}$; в) $\alpha=-\frac{\lambda}{t_c-t_p}\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_{n=0}$;

г) $\frac{d}{dx}\int_0^\delta w_x(w_0-w_x)dy=\frac{s_c}{\rho}$.

6. Як записується критеріальне рівняння для визначення тепловіддачі при вимушеній конвекції та в'язкісному режимі руху рідини **(2 бали)**?

а) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Gr},\mathrm{Pr})$; б) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Re},\mathrm{Gr},\mathrm{Pr})$; в) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Re},\mathrm{Pr})$; г) $\mathrm{Eu}=f(\mathrm{Re},\mathrm{Pr})$.

7. Яке співвідношення місцевих коефіцієнтів тепловіддачі на відстані x_1=32 мм та x_2=243 мм від вхідної кромки плоскої поверхні при турбулентному русі рідини **(4 бали)**?

а)2,2; б) 0,5; в)1,9; г) 1,5; д) 1,7.

8. Яка товщина теплового примежового шару k на відстані x= 0,1 м від переднього краю пластини при омиванні ламінарним потоком води швидкістю w_0= 1 м/с з температурою 20 °С **(4 бали)**?

а) $0{,}871\times10^{-3}$ м; б) $3{,}213\times10^{-3}$ м; в) $1{,}472\times10^{-3}$ м; г) $0{,}767\times10^{-3}$ м; д) $0{,}018\times10^{-3}$ м.

9. Яке значення має коефіцієнт конвекції при вільному русі рідини у обмеженому об'ємі, якщо $Gr_p\ Pr_p < 1000$ **(2 бали)**?

а) $\varepsilon_к = 1$; б) $\varepsilon_к = 2$; в) $\varepsilon_к = 3$; г) $\varepsilon_к = 4$.

10. При якому куті спостерігається максимум тепловіддачі на поверхні труб для другого та наступних рядів шахового пучка при поперечному омиванні **(2 бали)**?

а) $\varphi = 0^o$; б) $\varphi \approx 50^o$; в) $\varphi \approx 180^o$; г) $\varphi \approx 200^o$.

Задача

Визначити тепловий потік, кВт, від труби внутрішнім діаметром 38 мм та довжиною 2 м до води, яка протікає через трубу зі швидкістю 1 м/с. Середня температура води 60 °С, а внутрішньої поверхні труби 120 °С **(8 балів)**.

Тестове завдання № 6 (90 хвилин, 33 бали)

1. Фізичні явища однієї групи це явища, які **(2 бали)**:

а) описуються однаковими за формою та фізичним змістом диференціальними рівняннями; б) описуються однаковими за формою, але різними за фізичним змістом диференціальними рівняннями; в) описуються однаковими за фізичним змістом, але різними за формою диференціальними рівняннями; г) описуються однаковими за формою та змістом диференціальними рівняннями та умовами однозначності.

2. Що характеризує число Нусельта **(2 бали)**?

а) інтенсивність конвективного теплообміну; б) режим руху рідини; в) фізичні властивості рідини; г) підйомну силу у рідині; д) співвідношення сил тиску та сил інерції.

3. Тепловий примежовий шар це тонкий пристінний шар, у якому **(2 бали)**:

а) температура рідини змінюється від температури стінки до температури на віддаленні від неї; б) швидкість рідини змінюється від нуля на стінці до швидкості незбуреного потоку; в) швидкість рідини змінюється від швидкості потоку на вході до швидкості потоку на віддаленні від стінки; г) температура рідини змінюється від температури потоку на вході до температури потоку на віддаленні від стінки.

4. Визначити значення числа Грасгофа Gr_{pd} для течії води усередині труби діаметром 32 × 3 мм, якщо температура води на вході до труби 80 °С, а на виході з неї 40 °С. Температура стінки труби 20 °С **(3 бали)**.

а) $8{,}71\times10^6$; б) $1{,}542\times10^7$; в) 1327,8; г) 568,2; д) 34,9.

5. Як записується інтегральне рівняння динамічного примежового шару при вимушеному поздовжньому омиванні плоскої поверхні **(2 бали)**?

а) $\frac{d}{dx}\int_0^k w_x(t_0 - t)dy = -\frac{q_c}{\rho c_p}$; б) $\frac{dt}{d\tau} = a\nabla^2 t + \frac{q_v}{\rho c_p}$; в) $\alpha = -\frac{\lambda}{t_c - t_p}\left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_{n=0}$;

г) $\frac{d}{dx}\int_0^\delta w_x(w_0 - w_x)dy = \frac{s_c}{\rho}$.

6. Як записується критеріальне рівняння для визначення тепловіддачі при вимушеній конвекції та в'язкісно-гравітаційному режимі руху рідини **(2 бали)**?

а) $Nu = f(Gr, Pr)$; б) $Nu = f(Re, Gr, Pr)$; в) $Nu = f(Re, Pr)$; г) $Eu = f(Re, Pr)$.

7. Яка різниця у % між середньоарифметичним та середньологарифмічним температурними напорами між стінкою та рідиною при русі у каналі, якщо середня температура стінки 150 °С, а температура рідини на вході та виході відповідно 50 і 100 °С **(4 бали)**?

а)14,17; б) 9,45; в) 15,16; г) 4,94; д) 3,82.

8. У скільки разів зменшаться втрати теплоти вільною конвекцією з поверхні горизонтального паропроводу, якщо після накладення теплової ізоляції його діаметр збільшився у два рази, а температурний напір між тепловіддавальною поверхнею та оточуючим повітрям зменшився у шість разів **(4 бали)**?

а) 1,414; б) 8,93; в) 3,88; г) 5,58; д) 2,46.

9. Добуток яких чисел подібності визначає режим руху рідини при гравітаційній вільній конвекції **(2 бали)**?

а) $Nu Gr Pr$; б) $Re Pr$; в) $Gr Pr$; г) $Eu Pr$.

10. З якого ряду у пучках труб середня тепловіддача стабілізується **(2 бали)**?

а) з другого ряду; б) з третього ряду; в) з четвертого ряду; г) з п'ятого ряду.

Задача

Визначити середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), до пучка труб довжиною 2 м та зовнішнім діаметром 32 мм, які розміщені за вершинами квадрата з кроком 45 мм, при поздовжньому омиванні повітрям з середньою температурою 100 °С та швидкістю 10 м/с **(8 балів)**.

Тестове завдання № 7 (90 хвилин, 33 бали)

1. Як формулюється перша теорема подібності **(2 бали)**?

а) подібні ті явища, для яких умови однозначності подібні та однойменні критерії подібності чисельно однакові; б) подібні ті явища, для яких умови однозначності подібні; в) залежність між змінними процесу може бути представлена як залежність між числами подібності; г) для подібних явищ усі однойменні числа подібності чисельно однакові.

2. Що характеризує критерій Прандтля **(2 бали)**?

а) інтенсивність конвективного теплообміну; б) режим руху рідини; в) фізичні властивості рідини; г) підйомну силу у рідині; д) співвідношення сил тиску та сил інерції.

3. Що таке визначальна температура **(2 бали)**?

а) температура, за якою визначають швидкість потоку; б) температура, за якою визначають фізичні властивості рідини у числах подібності; в) температура, за якою визначають витрату рідини; г) температура, за якою визначають режим руху рідини.

4. Визначити значення числа Грасгофа $Gr_{пшd}$ для течії води усередині труби діаметром 32 × 3 мм, якщо температура води на вході до труби 80 °С, а на виході з неї 40 °С. Температура стінки труби 20 °С **(3 бали)**.

а) $3{,}682\times10^{6}$; б) $1{,}542\times10^{7}$; в) $1{,}327\times10^{8}$; г) $6{,}146\times10^{6}$; д) $3{,}496\times10^{5}$.

5. Яке рівняння є математичним виразом аналогії перенесення теплоти та кількості руху (аналогії Рейнольдса) **(2 бали)**?

а) $\dfrac{dt}{d\tau}=a\nabla^2 t+\dfrac{q_v}{\rho c_p}$; б) $\rho\dfrac{d\vec{w}}{d\tau}=\rho\vec{g}-\nabla p+\mu\nabla^2\vec{w}$; в) $\mathrm{Nu}=0{,}5c_f\,\mathrm{Re}\,\mathrm{Pr}$;

г) $\alpha=-\dfrac{\lambda}{t_{\text{с}}-t_{\text{р}}}\left(\dfrac{\partial t}{\partial n}\right)_{n=0}$.

6. Який загальний вид має рівняння подібності для визначення тепловіддачі при вільній конвекції **(2 бали)**?

а) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Gr},\mathrm{Pr})$; б) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Re},\mathrm{Gr},\mathrm{Pr})$; в) $\mathrm{Nu}=f(\mathrm{Re},\mathrm{Pr})$; г) $\mathrm{Eu}=f(\mathrm{Re},\mathrm{Pr})$.

7. Яка товщина теплового примежового шару k на відстані $x=0{,}1$ м від переднього краю пластини при омиванні ламінарним потоком повітря швидкістю $w_0=10$ м/с з температурою 20 °С **(4 бали)**?

а) $3{,}871\times10^{-3}$ м; б) $2{,}025\times10^{-3}$ м; в) $1{,}772\times10^{-3}$ м; г) $0{,}967\times10^{-3}$ м; д) $0{,}078\times10^{-3}$ м.

8. Яке співвідношення між середніми коефіцієнтами тепловіддачі вільною конвекцією з поверхні двох горизонтальних труб діаметрами 16 і 64 мм відповідно, які знаходяться в однакових умовах охолодження **(4 бали)**?

а) 3,14; б) 1,96; в) 25,3; г) 0,82; д) 1,41.

9. Яким рівнянням визначається температурний коефіцієнт об'ємного розширення **(2 бали)**?

а) $\nu=\dfrac{\mu}{\rho}$; б) $s=\mu\left(\dfrac{\partial w}{\partial n}\right)$; в) $\beta=-\dfrac{1}{\rho}\left(\dfrac{\partial\rho}{\partial t}\right)_p$; г) $\varepsilon=\dfrac{1}{\rho}\left(\dfrac{\partial\rho}{\partial p}\right)_t$.

10. При якому значенні числа Рейнольдса у пучках труб при їх поперечному омиванні спостерігається змішаний режим течії рідини **(2 бали)**?

а) $\mathrm{Re}<1\cdot10^3$; б) $1\cdot10^3<\mathrm{Re}<1\cdot10^5$; в) $\mathrm{Re}>1\cdot10^5$; г) $1\cdot10^2<\mathrm{Re}<1\cdot10^4$.

Задача

Визначити середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), від труби внутрішнім діаметром 38 мм та довжиною 2 м до води, яка протікає через трубу зі швидкістю 1 м/с. Труба зігнута у виді змійовика діаметром 500 мм. Середня температура води 60 °С, а внутрішньої поверхні труби 100 °С **(8 балів)**.

Тестове завдання № 8 (90 хвилин, 33 бали)

1. Як формулюється друга теорема подібності **(2 бали)**?

а) подібні ті явища, для яких умови однозначності подібні та однойменні критерії подібності чисельно однакові; б) подібні ті явища, для яких умови однозначності подібні; в) залежність між змінними процесу може бути представлена як залежність між числами подібності; г) для подібних явищ усі однойменні числа подібності чисельно однакові.

2. Що характеризує критерій Грасгофа **(2 бали)**?

а) інтенсивність конвективного теплообміну; б) режим руху рідини;в) фізичні властивості рідини; г) підйомну силу у рідині; д) співвідношення сил тиску та сил інерції.

3. Що враховує поправка $(\mathrm{Pr}_{\delta}/\mathrm{Pr}_{\text{ñò}})^{0,25}$ у критеріальних рівняннях **(2 бали)**?

а) зміну швидкості у примежовому шарі; б) зміну фізичних властивостей рідини з температурою у примежовому шарі; в) зміну температури стінки; г) зміну товщини примежового шару.

4. Визначити значення числа Ейлера для течії води усередині труби діаметром 32 × 3 мм, якщо її витрата становить 600 кг/год. Температура води на вході до труби 80 °С, а на виході 40 °С. Опір руху середовища 3000 Па **(3 бали)**.

а) $\mathrm{Eu} = 8{,}92\times10^{6}$; б) $\mathrm{Eu} = 29{,}93$; в) $\mathrm{Eu} = 1327{,}86$; г) $\mathrm{Eu} = 568{,}27$; д) $\mathrm{Eu} = 94{,}91$.

5. В'язкий підшар це частина турбулентного динамічного шару, у якому **(2 бали)**:

а) сили інерції переважають сили в'язкості; б) швидкість рідини змінюється від нуля на стінці до швидкості незбуреного потоку; в) сили в'язкості переважають сили інерції; г) температура рідини змінюється від температури стінки до температури на віддаленні від неї.

6. Яким рівнянням визначається динамічний коефіцієнт в'язкості **(2 бали)**?

а) $\nu = \dfrac{\mu}{\rho}$; б) $\varepsilon = \dfrac{1}{\rho}\left(\dfrac{\partial\rho}{\partial p}\right)_t$; в) $\beta = -\dfrac{1}{\rho}\left(\dfrac{\partial\rho}{\partial t}\right)_p$; г) $s = \mu\left(\dfrac{\partial w}{\partial n}\right)$.

7. Якого діаметра слід взяти модель, за допомогою якої вивчається температурне поле в циліндрі діаметром 400 мм? Теплопровідність матеріалу циліндра 63, а моделі 15 Вт/(м · К). Коефіцієнт тепловіддачі для циліндра 10, а для моделі 30 Вт/(м^2 · К) **(4 бали)**.

а) 32 мм; б) 72 мм; в) 91 мм; г) 368 мм; д) 62 мм.

8. Як залежить місцевий коефіцієнт тепловіддачі від координати x для вільної конвекції на вертикальній поверхні при ламінарному режимі **(4 бали)**?

а) $\alpha_x \approx x^{0,25}$; б) $\alpha_x \approx x^{-0,5}$; в) $\alpha_x \approx x^{-0,25}$; г) $\alpha_x \approx x^{0,5}$.

9. Яке співвідношення товщини теплового k та гідродинамічного δ примежових шарів при омиванні пластини ламінарним потоком води з температурою 20 °С **(2бали)**?

а) 1,423; б) 2,225; в) 0,522; г) 0,012; д) 0,231.

10. З чим пов'язана наявність двох мінімумів на кривій зміни місцевого коефіцієнта тепловіддачі уздовж окружності циліндра при його поперечному обтіканні потоком рідини при $\mathrm{Re} > 2\cdot10^{5}$ та $q_c = \mathrm{const}$ **(2бали)**?

а) переходом від ламінарної течії у примежовому шарі до турбулентної; б) переходом від ламінарної течії у примежовому шарі до турбулентної та відривом турбулентного примежового шару; в) утворенням вихорів у кормовій частині циліндра; г) зростанням статичного тиску уздовж потоку та гальмуванням рідини стінкою.

Задача

Визначити середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), при поперечному омиванні чотирнадцятирядного коридорного пучка котельного агрегату, який

складається з труб діаметром 51 мм. Поперечний крок s_1 = 100 мм, а поздовжній s_2 = 110 мм. Температура димових газів на вході до пучка 1000 °С, а на виході з нього 400 °С. Середня швидкість газів у вузькому перерізі пучка 7 м/с **(8 балів)**.

Тестове завдання № 9 (90 хвилин, 33 бали)

1. Як формулюється третя теорема подібності **(2бали)**?

а) подібні ті явища, для яких умови однозначності подібні та однойменні критерії подібності чисельно однакові; б) подібні ті явища, для яких умови однозначності подібні; в) залежність між змінними процесу може бути представлена як залежність між числами подібності; г) для подібних явищ усі однойменні числа подібності чисельно однакові.

2. Що характеризує число Ейлера **(2бали)**?

а) інтенсивність конвективного теплообміну; б) режим руху рідини; в) фізичні властивості рідини; г) підйомну силу у рідині; д) співвідношення сил тиску та сил інерції.

3. Яке значення має число Прандтля для рідких металів **(2бали)**?

а) $\mathrm{Pr} > 1$; б) $\mathrm{Pr} << 1$; в) $\mathrm{Pr} \approx 1$; г) $\mathrm{Pr} >> 1$.

4. Через який час потрібно вимірювати температуру в моделі діаметром 50 мм, за допомогою якої вивчається температурне поле в довгому циліндрі діаметром 400 мм через 30 хв? Температуропровідність матеріалу циліндра $18 \cdot 10^{-6}$, а моделі $4 \cdot 10^{-6}$ м^2/с **(3 бали)**.

а) 916 с; б) 472 с; в) 127 с; г) 368 с; д) 162 с.

5. Тепловий підшар це частина турбулентного теплового шару, у якому **(2бали)**:

а) теплота переноситься головним чином турбулентними пульсаціями; б) теплота переноситься теплопровідністю та турбулентними пульсаціями; в) теплота переноситься головним чином теплопровідністю; г) температура рідини змінюється від температури стінки до температури на віддаленні від неї.

6. Як експериментально визначають середню температуру потоку в даному перерізі каналу (середньомасову температуру) **(2бали)**?

а) як середню між температурами біля стінки та на вісі каналу; б) як середню між температурами на вході до каналу та виході з нього; в) як середню між температурою стінки та потоку; г) як температуру за змішувальним пристроєм.

7.Як залежить місцевий коефіцієнт тепловіддачі від координати x для вільної конвекції на вертикальній поверхні при турбулентному режимі **(4бали)**?

а) $\alpha_x \approx x^{-0,25}$; б) $\alpha_x \approx x^{-0,5}$; в) $\alpha_x \approx x^{0,5}$; г) $\alpha_x = \mathrm{const}$.

8. Який характер має течія при поперечному обтіканні повітрям труби діаметром 22 мм? Температура та швидкість повітря, що набігає на трубу, відповідно 40 °С та 1 м/с **(4 бали)**:

а) безвідривна течія; б) відрив ламінарного примежового шару; в) відрив турбулентного примежового шару.

9. Яке співвідношення товщини теплового k та гідродинамічного δ примежових шарів при омиванні пластини ламінарним потоком повітря з температурою 20 °С **(2бали)**?

а) 3,723; б) 2,225; в) 0,522; г) 1,125; д) 0,231.

10. Що таке ділянка гідродинамічної стабілізації при течії в трубі **(2бали)**?

а) ділянка, де швидкість рідини змінюється від нуля на стінці до швидкості незбуреного потоку; б) відстань від вхідного перерізу труби до перерізу, де відбувається злиття гідродинамічного примежового шару; в) ділянка, де температура рідини змінюється від температури стінки до температури незбуреного потоку.

Задача

Визначити середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), при поперечному омиванні двадцятирядного шахового пучка повітропідігрівника, який складається з труб діаметром 45 мм. Поперечний крок s_1 = 70 мм, а поздовжній s_2 = 50 мм. Температура повітря на вході до пучка 30 °С, а на виході з нього 170 °С. Середня швидкість повітря у вузькому перерізі пучка 10 м/с **(8 балів)**.

Тестове завдання № 10 (90 хвилин, 33 бали)

1. Як записується диференціальне рівняння тепловіддачі **(2 бали)**?

а) $\rho\dfrac{d\vec{w}}{d\tau} = \rho\vec{g} - \nabla p + \mu\nabla^2\vec{w}$; б) $\alpha = -\dfrac{\lambda}{t_{\text{с}} - t_{\text{р}}}\left(\dfrac{\partial t}{\partial n}\right)_{n=0}$; в) $\dfrac{dt}{d\tau} = a\nabla^2 t + \dfrac{q_v}{\rho c_p}$;

г) $\dfrac{\partial\rho}{\partial\tau} + \dfrac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \dfrac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \dfrac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0$.

2. Які фізичні явища є аналогічними **(2 бали)**?

а) теплопровідності, молекулярної дифузії, електропровідності, руху рідини при ламінарному русі; б) теплопровідності, молекулярної дифузії, електропровідності, руху рідини при турбулентному русі; в) теплопровідності, молекулярної дифузії, електропровідності, кипіння та конденсації; г) теплопровідності, молярної дифузії, електропровідності, руху рідини при ламінарному русі.

3. Що таке визначальна температура **(2 бали)**?

а) температура, за якою визначають швидкість потоку; б) температура, за якою визначають витрату рідини; в) температура, за якою визначають фізичні властивості рідини у числах подібності; г) температура, за якою визначають режим руху рідини.

4. Визначити значення числа Рейнольдса для руху повітря усередині каналу прямокутного перерізу розміром 300×200 мм, якщо його витрата становить 1000 кг/год. Середня температура повітря 100 °С **(3 бали)**.

а) $0{,}871\times10^6$; б) $1{,}342\times10^4$; в) $1{,}980\times10^3$; г) $1{,}042\times10^5$; д) $5{,}078\times10^4$.

5. Який вид має критеріальне рівняння для визначення тепловіддачі при вимушеній конвекції та в'язкісно-гравітаційному режимі руху рідини у каналі **(2 бали)**?

а) $\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Gr}, \text{Pr})$; б) $\text{Nu} = f(\text{Gr}, \text{Pr})$; в) $\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Pr})$; г) $\text{Nu} = f(\text{Eu}, \text{Pr})$.

6. Як залежить коефіцієнт тепловіддачі від температурного напору Δt між стінкою та рідиною для вільної конвекції при турбулентному режимі **(2 бали)**?

а) $\alpha \approx \Delta t^{-0,25}$; б) $\alpha \approx \Delta t^{-0,5}$; в) $\alpha \approx \Delta t^{0,33}$; г) $\alpha \approx \Delta t^{0,5}$.

7. Яке співвідношення місцевих коефіцієнтів тепловіддачі на відстані x_1=10 мм та x_2=1000 мм від вхідної кромки плоскої поверхні при ламінарному русі рідини **(4 бали)**?

а)3; б) 5**;** в)10; г) 1,5; д) 200.

8. Який режим поперечного омивання пучка труб діаметром 25 мм димовими газами, якщо їх середня швидкість 10 м/с, температура на вході до пучка 400 ^{o}C, а виході з нього 200 ^{o}C **(4 бали)**?

а) ламінарний; б) змішаний ; в) турбулентний; г) перехідний.

9. Яке співвідношення товщини теплового k та гідродинамічного δ примежових шарів при омиванні пластини ламінарним потоком?

а) $k/\delta = 1/\sqrt[3]{\mathrm{Pr}}$; б) $k/\delta = 1/\sqrt[3]{\mathrm{Re}}$; в) $k/\delta = 1/\sqrt[3]{\mathrm{Eu}}$; г) $k/\delta = 1/\sqrt[3]{\mathrm{Gr}}$.

10. Як впливає на інтенсивність тепловіддачі вільна конвекція при в'язкісно-гравітаційному режимі течії у вертикальній трубі, якщо рідина рухається знизу уверх та охолоджується?

а) інтенсивність тепловіддачі зменшується; б) інтенсивність тепловіддачі зростає; в) інтенсивність тепловіддачі не змінюється.

Задача

Визначити допустиму силу струму, А, через дріт діаметром 4 мм з питомим опором 0,0175 Ом·мм^2/м, який вкритий ізоляцією (λ = 0,16 Вт/(м·К)) товщиною 1,5 мм, щоб температура ізоляції не перевищувала 70 ^{o}C. Дріт охолоджується в умовах вимушеної конвекції поперечним потоком повітря з температурою 20 ^{o}C та швидкістю 7 м/с **(8 балів)**.

Змістовий модуль № 3 **«Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати»**

Тестове завдання № 1 (90 хвилин, 34 бали)

1. Конденсація пари на твердій поверхні теплообміну відбувається, якщо **(2 бали)**:

а) температура поверхні більше температури насичення $t_н$; б) температура поверхні менше $t_н$; в) температура поверхні дорівнює $t_н$; г) температура поверхні менше критичної.

2. Яке найбільш імовірне значення критичного числа Рейнольдса $\mathrm{Re}_{кр} = \overline{w}\delta/\nu$ для випадку конденсації нерухомої пари на вертикальній поверхні **(2 бали)**?

а) 400; б) 1000; в) 10000; г) 1600.

3. Для яких умов конденсації пари отримана формула Нусельта **(2 бали)**?

а) пара нерухома, перегріта, чиста, а течія плівки конденсату турбулентна; б) пара нерухома, чиста, суха насичена, а течія плівки конденсату ламінарна; в) пара рухома, чиста, суха насичена, а течія плівки ламінарна; г) течія плівки конденсату ламінарна.

4. Визначити середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), при конденсації сухої насиченої нерухомої водяної пари тиском p = 1,98·10^5 Па на вертикальній трубі діаметром 32 мм і довжиною 1 м, якщо температура поверхні труби 100 ^{o}С **(4 бали)**:

а) 783; б) 3453; в) 5862; г) 6933; д) 10349.

5. В якому температурному інтервалі можливе кипіння **(2 бали)**?

а) між температурою плавлення та критичною точкою; б) між потрійною та критичною точками; в) між потрійною точкою та температурою плавлення.

6. До режимних параметрів кипіння відносять **(2 бали)**:

а) критичний радіус та відривний діаметр пузирчика; б) тиск та перегрів рідини, спосіб обігріву стінки та швидкість циркуляції рідини; в) характер фізико-хімічної взаємодії пари і рідини зі стінкою; г) швидкість зростання та частота відриву пузирчика.

7. Визначити масовий витратний паровміст потоку x на виході з труби при кипінні, якщо тиск 1,0 МПа, а ентальпія пароводяної суміші $h_{сум}$ =1300 кДж/кг **(3 бали)**:

а) 0,451; б) 1,453; в) 0,266; г) 0,019; д) 0,97.

8. У скільки разів збільшиться густина інтегрального теплового потоку випромінюванням з поверхні абсолютно чорного тіла, якщо його температура зросла від 27 ^{o}С до 2727 ^{o}С **(3 бали)**?

а) 10; б) 100; в) 1000; г) 10000; д) 5.

9. Визначити потік результуючого випромінювання, кВт, між опуклим тілом з температурою 1000 ^{o}С та оболонкою з температурою 100 ^{o}С. Площа поверхні тіла F_1 = 1 м^2, оболонки F_2 = 5 м^2, а їх ступені чорноти відповідно 0,1 і 0,2 **(4 бали)**:

а) 2,45; б) 13,69**;** в) 12,66; г) 0,76; д) 1,34.

10. Вкажіть, за якою формулою розраховується середній температурний напір між теплоносіями для складних схем руху теплоносіїв **(2 бали)**:

а) $\Delta\bar{t} = \frac{1}{2}\left(\Delta t_{б} + \Delta t_{м}\right)$; б) $\Delta\bar{t} = \frac{\Delta t_{б} - \Delta t_{м}}{\ln\left(\Delta t_{б}/\Delta t_{м}\right)}$; в) $\Delta\bar{t} = \Delta\bar{t}_{прот}\ \varepsilon_{\Delta t}$; г) $\Delta\bar{t} = \Delta\bar{t}_{прям}\ \varepsilon_{\Delta t}$.

Задача

Визначити загальну довжину труб, м, секційного теплообмінника типу «труба в трубі», яка необхідна для охолодження трансформаторного масла від 105 до 55 °С. Масло рухається зі швидкістю 2,0 м/с по внутрішній сталевій трубі діаметром 18×2 мм. Вода рухається по зовнішній трубі діаметром 32×2 мм, її початкова температура 20, а кінцева 40 °С. Коефіцієнт тепловіддачі для масла 1400 Вт/(м^2·К). Температуру стінки прийняти рівною середній між температурами теплоносіїв. Втрати теплоти не враховувати. Схема руху – протитечія. Використати формулу для циліндричної стінки. **(8 балів)**.

Тестове завдання № 2 (90 хвилин, 34 бали)

1. Плівкова конденсація має місце, якщо **(2 бали)** :

а) конденсат не змочує поверхню; б) конденсат змочує поверхню; в) поверхня орієнтована вертикально; г) поверхня орієнтована горизонтально.

2. Термічний опір теплопередачі при конденсації пари дорівнює **(2 бали)** :

а) сумі термічних опорів стінки та плівки конденсату; б) сумі термічних опорів стінки та міжфазового термічного опору; в) сумі термічних опорів плівки конденсату та міжфазового термічного опору; г) термічному опору плівки конденсату.

3.Які сили, що діють у плівці конденсату, враховують у рішенні Нусельта **(2 бали)**?

а) сили в'язкості та сили тяжіння; б) сили інерції, в'язкості та сили тяжіння; в) сили інерції, в'язкості, тиску та сили тяжіння; г) сили інерції та сили тяжіння.

4. Визначити місцевий коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), при конденсації сухої насиченої нерухомої водяної пари тиском p = 1,98·10^5 Па на вертикальній трубі на відстані 1м від її верхнього кінця, якщо температура поверхні труби 100 °С **(4 бали)**:

а) 783; б) 3453; в) 4250; г) 7097; д) 10349.

5. Що таке кипіння **(2 бали)**?

а) процес пароутворення з поверхні рідини, температура якої нижче температури оточуючого середовища; б) процес пароутворення в усьому об'ємі рідини, температура якої дорівнює температурі насичення $t_{н}$; в) процес пароутворення в усьому об'ємі рідини, яка перегріта відносно $t_{н}$, з утворенням парових пузирчиків.

6. Які фактори впливають на утворення пузирчика критичним радіусом **(2 бали)**?

а) тиск рідини та її перегрів; б) тиск рідини, її перегрів та характер фізико-хімічної взаємодії пари і рідини зі стінкою; в) характер фізико-хімічної взаємодії пари і рідини зі стінкою; г) тиск рідини та змочування поверхні рідиною.

7. Визначити коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), при кипінні в умовах вимушеної конвекції в трубах, якщо коефіцієнт тепловіддачі для однофазної рідини 1000, а для пузиркового кипіння 1500 Вт/(м^2·К) **(3 бали)**:

а) 1435; б) 1167; в) 1571; г) 2341; д) 3425.

8. Чому дорівнює приведений ступінь чорноти системи, яка складається з двох сірих тіл: внутрішнього без ввігнутостей з ε_1 = 0,05, яке розміщено усередині зовнішнього з ε_2 = 0,5, якщо поверхня $F_2 >> F_1$ **(3 бали)**?

а) 0,55; б) 0,05; в) 0,5(0,05+0,5) = 0,275; г) 1,12; д) 0,91.

9. Визначити співвідношення густин теплового потоку випромінюванням та конвекцією (α = 20 Вт/(м^2·К)) з поверхні тіла, якщо її температура 1000 ^{o}С, а ступінь чорноти ε = 0,5. Температура оточуючого повітря 20 ^{o}С **(4 бали)**:

а) 0,23; б) 1,65; в) 2,46; г) 3,79; д) 10,91.

10. До рекуперативних теплообмінних апаратів відносять пристрої, в яких **(2 бали)**:

а) теплоносії розділені стінкою; б) таж сама поверхня омивається по черзі то гарячим, то холодним теплоносієм; в) теплопередача здійснюється при змішуванні гарячого та холодного теплоносіїв; г) застосовують один теплоносій, який відводить теплоту, що виділяється в самому апараті.

Задача

Визначити кінцеві температури теплоносіїв, ^{o}С, та теплову потужність теплообмінника, кВт, з поверхнею теплообміну 10 м^2, якщо витрата та теплоємність гарячого теплоносія відповідно 1000 кг/год та 4,2 кДж/(кг·К), холодного теплоносія – 2000 кг/год та 2,0 кДж/(кг·К), коефіцієнт теплопередачі 1000 Вт/(м^2·К). Початкові температури теплоносіїв t_1' = 120 ^{o}С t_2' = 20 ^{o}С. Вважати $\Delta t_б / \Delta t_м < 2$ і розподіл температур теплоносіїв уздовж поверхні теплообміну лінійним. Схема руху – протитечія. **(8 балів)**.

Тестове завдання № 3 (90 хвилин, 34 бали)

1. Як визначається число Рейнольдса в перерізі x плівки при конденсації пари на вертикальній поверхні **(2 бали)**?

а) $\mathrm{Re} = \overline{w}x/\nu_р$; б) $\mathrm{Re} = \overline{\alpha}\Delta t x/\mu_р r$; в) $\mathrm{Re} = \beta\Delta t x/\mu_р r$; г) $\mathrm{Re} = \lambda\Delta t x/\mu_р r$.

2. Як залежить місцевий коефіцієнт тепловіддачі α від координати x при ламінарній течії плівки конденсату на вертикальній поверхні в рішенні Нусельта **(2 бали)**?

а) $\alpha = c\sqrt[4]{1/x}$; б) $\alpha = c\sqrt{1/x}$; в) $\alpha = c\sqrt[4]{x}$; г) $\alpha = c\sqrt[3]{x}$.

3. Вкажіть вид формули Нусельта у безрозмірному виді **(2 бали)**:

а) $\mathrm{Nu} = c\,\mathrm{Re}^n\,\mathrm{Pr}^p$; б) $\mathrm{Nu} = c(\mathrm{GrPr})^n$; в) $\mathrm{Re} = cZ^n$; г) $\mathrm{Nu} = c\,\mathrm{Re}^n\,\mathrm{Gr}^m\mathrm{Pr}^p$.

4. Визначити співвідношення середніх коефіцієнтів тепловіддачі при конденсації сухої насиченої нерухомої водяної пари на горизонтальній та вертикальній трубах діаметром 32 мм і довжиною 1 м при t_c=const, якщо течія плівки конденсату ламінарна (ε_ν=1), а умови конденсації однакові **(4 бали)**.

а) 1,83; б) 3,43; в) 0,37; г) 0,89; д) 1,04.

5. Від чого залежить розмір тих елементів шорсткості поверхні теплообміну, які можуть бути центрами пароутворення при кипінні **(2 бали)**?

а) температури поверхні теплообміну; б) температури насичення; в) перегріву рідини та тиску; г) змочування поверхні рідиною.

6. Вкажіть, що спостерігається при першій кризі кипіння **(2 бали)**:

а) різке зниження тепловіддачі та температури поверхні; б) різке підвищення тепловіддачі та температури поверхні; в) різке зниження тепловіддачі та підвищення температури поверхні; г) різке підвищення тепловіддачі та зниження температури поверхні.

7. У скільки разів зміниться коефіцієнт тепловіддачі при кипінні води у великому об'ємі, якщо тиск збільшився у 2 рази, а температурний напір у 1,5 рази **(3 бали)**?

а) 0,768; б) 4,235; в) 1,476; г) 2,574; **д) 3,638.**

8. Чому дорівнює результуюче випромінювання, Вт/м^2, для непрозорого сірого тіла з температурою 200 ^{o}C і ε = 0,8, якщо падаюче випромінювання 5000 Вт/м^2 **(3 бали)**?

а) -987; б) -1730; в) 2676; г) -5574; д) 3170.

9. Визначити сумарну густину теплового потоку, Вт/м^2, конвекцією (α = 20 Вт/(м^2·К)) та випромінюванням з поверхні тіла, якщо її температура 100 ^{o}C, а ступінь чорноти ε = 0,5. Температура оточуючого повітря 20 ^{o}C **(4 бали)**.

а) 883; б) 2130; в) 1940; г) 563; д) 1278.

10. При якій схемі руху теплоносіїв у теплообмінному апараті забезпечується максимальний температурний напір **(2 бали)**:

а) прямотечії; б) послідовно-змішаній течії; в) перехресній течії; г) протитечії.

Задача

Визначити температури повітря та димових газів, ^{o}C, на виході з рекуперативного сталевого повітропідігрівника котельного агрегату, поверхня нагріву якого становить 230 м^2. Гази рухаються усередині труб діаметром 40×1,5 мм, а повітря – у міжтрубному просторі. Кількість труб – 1300 штук. Об'ємні витрати газів і повітря при нормальних фізичних умовах відповідно 8,3 та 7,1 м^3/с, а їх початкові температури – 350 та 30 ^{o}C. Схема руху – однократний перехрест. Поправка $\varepsilon_{\Delta t}$ = 0,96. Коефіцієнт тепловіддачі для повітря 60 Вт/(м^2·К). Втрати теплоти, тепловіддачу випромінюванням, а також забруднення поверхні не враховувати. Коефіцієнт теплопередачі розрахувати за формулою плоскої стінки. Розходження між тепловими потоками за рівняннями теплопередачі та теплового балансу не має перевищувати ± 2 % **(8 балів)**.

Тестове завдання № 4 (90 хвилин, 34 бали)

1. Термічний опір теплопередачі при конденсації пари дорівнює **(2 бали)** :

а) сумі термічних опорів стінки та плівки конденсату; б) сумі термічних опорів плівки конденсату та міжфазового термічного опору; в) сумі термічних опорів стінки та міжфазового термічного опору; г) термічному опору плівки конденсату.

2. Як визначається поправка до формули Нусельта на хвильову течію плівки конденсату **(2 бали)**?

а) $\left[(\lambda_с/\lambda_н)^3 \mu_н/\mu_с\right]^{1/8}$; б) $Pr^{0,04}$; в) $Re^{0,04}$; г) $Re^{0,4}$.

3. Вкажіть граничні умови задачі конденсації пари у рішенні Нусельта **(2 бали)**?

а) при $y = 0$ $t = t_н$ та $w_x = 0$; при $y = \delta$ $t = t_с$ та $\partial w_x/\partial y = 0$;

б) при $y = 0$ $t = t_с$ та $w_x = 0$; при $y = \delta$ $t = t_н$ та $\partial w_x/\partial y = 0$;

в) при $y = 0$ $t = t_с$ та $\partial w_x/\partial y = 0$; при $y = \delta$ $t = t_н$ та $w_x = 0$.

4. Визначити співвідношення місцевих коефіцієнтів тепловіддачі при конденсації сухої насиченої нерухомої водяної пари на вертикальній трубі на відстані 0,5 та 1м від її верхнього кінця, якщо режим руху плівки конденсату ламінарний **(4 бали)**.

а) 0,78; б) 0,34; в) 4,25; г) 1,19; д) 2,34.

5. Які основні режими кипіння спостерігаються **(2 бали)**?

а) ламінарний та турбулентний; б) вільноконвективний та плівковий; в) пузирковий та плівковий; г) вільноконвективний та пузирковий.

6. Що таке друга критична густина теплового потоку при кипінні **(2 бали)**?

а) мінімальне теплове навантаження при пузирковому режимі; б) мінімальне теплове навантаження при плівковому режимі; в) максимальне теплове навантаження при пузирковому режимі; г) максимальне теплове навантаження при плівковому режимі.

7. Визначити силу струму, А, що пропускається через електрокип'ятильник, на поверхні якого відбувається пузиркове кипіння у великому об'ємі під тиском 1,013 бар, якщо перегрів води 10 °С. Діаметр проводу електрокип'ятильника 3 мм, а питомий опір $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом · м **(3 бали)**:

а) 124; б) 5,8; в) 24,7; г) 71; д) 225.

8. Визначити довжину хвилі $\lambda_{макс}$, мкм, якій відповідає максимальна спектральна густина потоку випромінювання Сонця, вважаючи його абсолютно чорним тілом з $T = 5800$ К **(3 бали)**:

а) 1,3; б) 0,9; в) 0,7; г) 0,6; д) 0,5.

9. Визначити температуру екрана, К, розміщеного між двома плоскопаралельними поверхнями з температурами $t_1 = 1000$ °С і $t_2 = 100$ °С, якщо $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_e$ **(4 бали)**.

а) 943; б) 1072; в) 785; г) 1123; д) 852.

10. До регенеративних теплообмінних апаратів відносять пристрої, в яких **(2 бали)**:

а) теплоносії розділені стінкою; б) таж сама поверхня омивається по черзі то гарячим, то холодним теплоносієм; в) теплопередача здійснюється при змішуванні гарячого та холодного теплоносіїв; г) застосовують один теплоносій, який відводить теплоту, що виділяється в самому апараті.

Задача

Визначити площу поверхні, м^2, парового водопідігрівника, яка необхідна для підігрівання води від 70 до 130 °С з витратою 100 т/год. Підігрівник викона-

ний з горизонтальних сталевих труб діаметром 25×2 мм. Кількість труб – 100 штук. Тиск насиченої пари, що конденсується на зовнішній поверхні труб, $3{,}61 \cdot 10^5$ Па. Температуру стінки прийняти рівною середній між температурами теплоносіїв. Пару вважати нерухомою. Переохолодження конденсату, а також втрати теплоти не враховувати. Використати формулу для плоскої стінки **(8 балів)**.

Тестове завдання № 5 (90 хвилин, 34 бали)

1. Чим зумовлений міжфазовий термічний опір при плівковій конденсації **(2 бали)**?

а) утворенням плівки конденсату; б) температурним стрибком у плівці; в) температурним стрибком на границі пари та конденсату; г) термічним опором стінки.

2. Як визначається поправка до формули Нусельта, яка враховує залежність фізичних властивостей конденсату від температури **(2 бали)**?

а) $\mathrm{Re}^{0,04}$; б) $\left[(\lambda_с/\lambda_н)^3\,\mu_н/\mu_с\right]^{1/8}$; в) $\left[(\lambda_с/\lambda_н)^3\,\mathrm{Pr}_н/\mathrm{Pr}_с\right]^{1/8}$; г) $\left[(\mu_н/\mu_с)^3\,\mathrm{Pr}_н/\mathrm{Pr}_с\right]^{1/8}$.

3. Як залежить товщина плівки конденсату δ від координати x при ламінарній течії на вертикальній поверхні в рішенні Нусельта **(2 бали)**?

а) $\delta = c\sqrt[4]{1/x}$; б) $\delta = c\sqrt{1/x}$; в) $\delta = c\sqrt[4]{x}$; г) $\delta = c\sqrt{1/x^3}$.

4. Визначити середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), при конденсації сухої насиченої нерухомої водяної пари тиском $p = 1{,}98 \cdot 10^5$ Па на горизонтальній трубі діаметром 32 мм і довжиною 1 м, якщо температура поверхні труби 100 °С **(4 бали)**.

а) 783; б) 3453; в) 5862; г) 7097; д) 10100.

5. Які мікрохарактеристики процесу кипіння **(2 бали)**?

а) тиск рідини та її перегрівання відносно температури насичення; б) критичний радіус, швидкість зростання, відривний діаметр та частота відриву пузирчика; в) перегрівання рідини відносно температури насичення та кількість центрів пароутворення.

6. Перша критична густина теплового потоку при кипінні це **(2 бали)**:

а) мінімальне теплове навантаження при пузирковому режимі; б) максимальне теплове навантаження при пузирковому режимі; в) мінімальне теплове навантаження при плівковому режимі; г) максимальне теплове навантаження при плівковому режимі.

7. Визначити силу струму, А, що пропускається через електрокип'ятильник, на поверхні якого відбувається пузиркове кипіння у великому об'ємі під тиском 1,013 бар, якщо теплове навантаження $q = q_{кр1}$. Діаметр проводу електрокип'ятильника 3 мм, а питомий опір $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом · м **(3 бали)**:

а) 124; б) 5,8; в) 24,7; г) 71; д) 268.

8. Визначити дійсну температуру тіла, К, зі ступенем чорноти ε = 0,1, якщо радіаційна температура $T_р$ = 1000 К **(3 бали)**?

а) 1240; б) 585; в) 1778; г) 717; д) 1968.

9. Визначити густину потоку результуючого випромінювання, кВт/м^2, між двома плоскопаралельними поверхнями з температурами t_1 = 1000 °С і t_2 = 100 °С і ступенями чорноти ε_1 = 0,1 і ε_2 = 0,5 (**4 бали**).

а) 12,43; б) 10,56; в) 17,78; г) 7,17; д) 19,68.

10. Вкажіть, за якою формулою розраховується середній температурний напір між теплоносіями при незначній зміні температур теплоносіїв, якщо $\Delta t_б / \Delta t_м <$ 2 (**2 бали**):

а) $\Delta\bar{t} = 0{,}5(\Delta t_б + \Delta t_м)$; б) $\Delta\bar{t} = \dfrac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln(\Delta t_б / \Delta t_м)}$; в) $\Delta\bar{t} = \Delta\bar{t}_{прот}\ \varepsilon_{\Delta t}$; г) $\Delta\bar{t} = \Delta\bar{t}_{прям}\ \varepsilon_{\Delta t}$.

Задача

Визначити площу поверхні нагріву батареї опалення, якщо втрата теплоти кімнатою 1 кВт. Товщина чавунної стінки батареї 5 мм. Температура гарячої води на вході та виході відповідно 82 та 78 °С. Коефіцієнт тепловіддачі для води 2000 Вт/(м^2·К). Висота секцій батареї 0,54 м. Температура оточуючого повітря 20 °С. Температуру поверхні батареї прийняти рівною середньоарифметичному значенню температури води. Коефіцієнт теплопередачі розрахувати за формулою плоскої стінки. Тепловіддачу випромінюванням не враховувати. **(8 балів)**.

Тестове завдання № 6 (90 хвилин, 34 бали)

1. При якому тиску чистої водяної пари, що конденсується, можна не враховувати міжфазовий термічний опір **(2 бали)** ?

а) при $p > 10^4$ Па; б) при $p > 10^5$ Па; в) при $p > 10^6$ Па; г) при $p > 10^7$ Па.

2. При конденсації пари стінці передається теплота **(2 бали)**:

а) фазового переходу r; б) переохолодження конденсату; в) фазового переходу r та переохолодження конденсату; г) перегріву пари.

3. Як залежить місцевий коефіцієнт тепловіддачі α від координати x при ламінарній течії плівки конденсату на вертикальній поверхні в рішенні Нусельта **(2 бали)**?

а) $\alpha = c\sqrt[4]{1/x}$; б) $\alpha = c\sqrt{1/x}$; в) $\alpha = c\sqrt[4]{x}$; г) $\alpha = c\sqrt[3]{x}$.

4. Визначити співвідношення середніх коефіцієнтів тепловіддачі при конденсації сухої насиченої нерухомої водяної пари на горизонтальних трубах діаметром 25 та 108 мм, якщо конденсація відбувається в однакових умовах **(4 бали)**.

а) 0,789; б) 0,346; в) 4,259; г) 1,442; д) 2,341.

5. Вкажіть, коли має місце друга криза кипіння **(2 бали)**:

а) при переході від вільноконвективного режиму до пузиркового кипіння;

б) при переході плівкового кипіння в пузиркове;

в) при переході пузиркового кипіння в плівкове;

г) при переході від пузиркового кипіння до вільноконвективного режиму.

6. Як змінюються відривний діаметр пузирчика $d_о$ та інтенсивність тепловіддачі при кипінні зі збільшенням крайового кута змочування **(2 бали)**?

а) d_o та інтенсивність тепловіддачі зменшуються; б) d_o та інтенсивність тепловіддачі зростають; в) d_o зростає, а інтенсивність тепловіддачі зменшуються; г) d_o зменшується, а інтенсивність тепловіддачі зростає.

7. Визначити поверхню нагріву, м^2, яка необхідна для отримання 1000 кг/год сухої насиченої пари з води, що кипить у великому об'ємі під тиском $4{,}76 \cdot 10^5$ Па. Температура поверхні становить 160 °С **(3 бали)**:

а) 124,6; б) 5,83; в) 24,7; г) 3,25; д) 2,68.

8. Визначити максимум спектральної густини потоку випромінювання Сонця, Вт/м^3, вважаючи його абсолютно чорним тілом з T = 5800 К **(3 бали)**.

а) $1{,}238 \times 10^9$; б) $7{,}654 \times 10^{10}$; в) $4{,}978 \times 10^{11}$; г) $1{,}513 \times 10^{12}$; д) $8{,}406 \times 10^{13}$.

9. Визначити густину потоку результуючого випромінювання, Вт/м^2, між двома плоскопаралельними поверхнями з температурами t_1 = 1000 °С; t_2= 100 °С, які розділені двома екранами, якщо $\varepsilon_1 = \varepsilon_{e1} = \varepsilon_{e2} = \varepsilon_2 = 0{,}1$ **(4 бали)**.

а) 1876; б) 5926; в) 2593; г) 3251; д) 347.

10. Метою перевірочного теплового розрахунку теплообмінних апаратів є **(2 бали)**?

а) визначення поверхні теплообміну та кінцевих температур теплоносіїв; б) визначення кількості переданої теплоти та кінцевих температур теплоносіїв; в) визначення поверхні теплообміну; г) визначення поверхні теплообміну та кількості переданої теплоти.

Задача

Визначити довжину труб сталевого змійовика з діаметром витка 0,4 м і діаметром труби 57×3,5 мм, яка необхідна для охолодження 1712 кг/год трансформаторного масла від 90 до 30 °С. Охолодження здійснюється водою, початкова температура якої 15, а кінцева 40 °С. Коефіцієнт тепловіддачі для води 580 Вт/(м^2·К). Температуру стінки прийняти рівною середній між температурами теплоносіїв. Втрати теплоти не враховувати. Схема руху – протитечія. Використати формулу для циліндричної стінки **(8 балів)**.

Тестове завдання № 7 (90 хвилин, 34 бали)

1. Для яких умов конденсації пари отримана формула Нусельта **(2 бали)**?

а) пара нерухома, перегріта, чиста, а течія плівки конденсату турбулентна; б) пара нерухома, чиста, суха насичена, а течія плівки конденсату ламінарна; в) пара рухома, чиста, суха насичена, а течія плівки ламінарна; г) течія плівки конденсату ламінарна.

2. При якому значенні критерію фазового перетворення (числа Кутателадзе) $K = r/\left(c_{pp}\Delta t\right)$ можна не враховувати теплоту переохолодження конденсату нижче температури насичення **(2 бали)**?

а) $K \le 5$; б) $K > 5$; в) $K > 400$; г) $K > 1600$.

3. Як залежить коефіцієнт тепловіддачі α від температурного напору Δt при ламінарній течії плівки конденсату на вертикальній поверхні в рішенні Нусельта **(2 бали)**?

а) $\alpha = c\sqrt{\Delta t}$; б) $\alpha = c\Delta t^{0,25}$; в) $\alpha = c\Delta t^{-0,25}$; г) $\alpha = c\sqrt[3]{\Delta t}$.

4. Визначити середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^2·К), при конденсації сухої насиченої нерухомої водяної пари тиском p = 1,98·10^5 Па на вертикальній трубі діаметром 32 мм і довжиною 3 м, якщо температура поверхні труби 100 ^{o}С **(4 бали)**.

а) 783; б) 3453; в) 6572; г) 7097; д) 10349.

5. Що таке критичний радіус пузирчика **(2 бали)**?

а) середній розмір парових пузирчиків; б) максимальний розмір парового пузирчика в момент відриву; в)максимальний розмір парових пузирчиків; г) мінімальний розмір парового пузирчика в момент зародження.

6. Вид кривої кипіння залежить від **(2 бали)**:

а) тиску рідини; б) перегріву рідини; в) способу обігріву поверхні теплообміну; г) швидкості примусової циркуляції рідини.

7. Визначити, у скільки разів зміниться коефіцієнт тепловіддачі при кипінні води у великому об'ємі при тиску 3,61·10^5 Па, якщо температуру стінки збільшилась від 150 до 155 ^{o}С **(3 бали)**:

а) 0,76; б) 5,43; в) 1,47; г) 2,57; д) 2,18.

8. Чому дорівнює ефективне випромінювання, Вт/м^2, для непрозорого сірого тіла з температурою 227 ^{o}С і ε = 0,5, якщо падаюче випромінювання $E_{пад}$ = 100 Вт/м^2 **(3 бали)**?

а) 176; б) 534; в) 1265; г) 2467; д) 1822.

9. Яке співвідношення густин теплового потоку вільною конвекцію (α = 10 Вт/(м^2 · К)) та випромінюванням з поверхні батареї опалення з температурою 80 ^{o}С та ступенем чорноти ε = 0,2, якщо температура повітря приміщення 20 ^{o}С **(4 бали)**?

а) 0,87; б) 6,49; в) 1,76; г) 7,72; д) 12,34.

10. Мета конструктивного теплового розрахунку теплообмінних апаратів **(2 бали)**:

а) визначення поверхні теплообміну та кінцевих температур теплоносіїв; б) визначення кількості переданої теплоти та кінцевих температур теплоносіїв; в) визначення поверхні теплообміну; г) визначення поверхні теплообміну та кількості переданої теплоти.

Задача

Визначити площу поверхні нагріву парогенератора АЕС, якщо витрата води першого контуру, що рухається усередині труб діаметром 16×1,4 мм (λ = 15 Вт/(м · К)), 1345 кг/с, її температура на вході та виході відповідно 300 та 270 ^{o}С, а середня теплоємність 5,36 кДж/(кг·К). Коефіцієнт тепловіддачі для води першого контуру 8000 Вт/(м^2·К). На поверхні труб кипить вода другого контуру під тиском 4,69 МПа. Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні труб розрахувати за формулою для пузиркового кипіння води у великому об'ємі. Втрати теплоти не враховувати. Температуру стінки труб прийняти рівною середньоарифметичному значенню температур теплоносіїв. Коефіцієнт теплопередачі розрахувати за формулою плоскої стінки **(8 балів)**.

Тестове завдання № 8 (90 хвилин, 34 бали)

1. Що характеризує число Рейнольдса при конденсації пари **(2 бали)**?

а) гідродинаміку плівки конденсату; б) інтенсивність теплообміну; в) гідродинаміку плівки конденсату та інтенсивність теплообміну; г) фізичні властивості конденсату.

2. Як визначається масова витрата конденсату в будь-якому перерізі плівки, яка тече на вертикальній поверхні **(2 бали)**?

а) $G = r\overline{w}\delta l_z$; б) $G = \rho_р \overline{w}\delta l_z$; в) $G = \lambda_р \overline{w}\delta l_z$; г) $G = \mu_р \overline{w}\delta l_z$.

3. Як залежить густина теплового потоку $q_с$ від температурного напору Δt при ламінарній течії плівки конденсату на вертикальній поверхні в рішенні Нусельта **(2 бали)**?

а) $q_с = c\sqrt{\Delta t}$; б) $q_с = c\Delta t^{0,25}$; в) $q_с = c\Delta t^{-0,25}$; г) $q_с = c\Delta t^{3/4}$.

4. Визначити масову витрату конденсату, кг/с, при конденсації сухої насиченої водяної пари тиском p = 1,98·10^5 Па на трубі діаметром 32 мм і довжиною 3 м, якщо коефіцієнт тепловіддачі 7000 Вт/(м^2·К), а температура поверхні труби 100 ^{o}С **(4 бали)**.

а) 0,019; б) 3,453; в) 0,037; г) 0,451; д) 1,034.

5. Чим визначається розмір тих елементів шорсткості поверхні теплообміну, які можуть бути центрами пароутворення при кипінні **(2 бали)**?

а) температурою поверхні теплообміну; б) відривним радіусом пузирчика; в) критичним радіусом пузирчика; г) температурою насичення.

6. Вкажіть, коли має місце перша криза кипіння **(2 бали)**:

а) при переході від вільноконвективного до пузиркового режиму; б) при переході від пузиркового кипіння до плівкового; в) при переході від плівкового кипіння до пузиркового; г) при переході від пузиркового режиму до вільноконвективного.

7. Визначити, у скільки разів зміниться коефіцієнт тепловіддачі при кипінні води у великому об'ємі, якщо тиск збільшився від 3,61·10^5 до 4,76 ·10^5 Па, а температуру стінки залишилась 160 ^{o}С **(3 бали)**:

а) 0,76; б) 1,47; в) 0,23; г) 2,57; д) 3,18.

8. Чому дорівнює ефективне випромінювання, Вт/м^2, для напівпрозорого сірого тіла (D = 0,1) з температурою 227 ^{o}С і ε = 0,5, якщо падаюче випромінювання $E_{пад}$ = 100 Вт/м^2 **(3 бали)**?

а) 176; б) 534; в) 1265; г) 2467; д) 1812.

9. Визначити ступінь чорноти ε досліджуваного матеріалу, трубчастий зразок якого довжиною 150 мм і зовнішнім діаметром 10 мм розміщений у балоні великого розміру, з якого відкачане повітря. Температура стінки зразка 200 °С, а стінки балона 20 °С. Потужність електронагрівача, розташованого усередині зразка, 10 Вт **(4 бали).**

а) 0,88; б) 0,45; в) 0,29; г) 0,95; д) 1,23.

10. В основі теплового розрахунку теплообмінних апаратів лежать **(2 бали)**:

а) рівняння теплового балансу та тепловіддачі; б) рівняння руху та енергії; в) рівняння теплового балансу та теплопередачі; г) рівняння суцільності та руху.

Задача

Визначити довжину труб парового калорифера, усередині горизонтальних сталевих труб якого діаметром 38×3 мм проходить 10000 м^3/год (об'єм при нормальних фізичних умовах). Повітря підігрівається від 30 до 90 °С. Кількість труб – 300 штук. Ззовні труб конденсується суха насичена водяна пара тиском $2{,}7\cdot10^5$ Па. Прийняти температуру стінки труб 100 °С. Пару вважати нерухомою. Втрати теплоти, а також переохолодження конденсату не враховувати. Коефіцієнт теплопередачі розрахувати за формулою циліндричної стінки **(8 балів)**.

Тестове завдання № 9 (90 хвилин, 34 бали)

1. Як залежить місцевий коефіцієнт тепловіддачі α від координати x при ламінарній течії плівки конденсату на вертикальній поверхні в рішенні Нусельта **(2 бали)**?

а) $\alpha = c\sqrt[4]{1/x}$; б) $\alpha = c\sqrt{1/x}$; в) $\alpha = c\sqrt[4]{x}$; г) $\alpha = c\sqrt[3]{x}$.

2. При якому значенні числа Рейнольдса $\mathrm{Re} = \overline{w}\delta/\nu$ утворюються хвилі на поверхні плівки конденсату, яка тече ламінарно на вертикальній поверхні**(2 бали)**?

а) Re ≤ 1; б) Re > 1; в) Re < 400; г) Re > 4.

3. Вкажіть систему рівнянь задачі конденсації пари у рішенні Нусельта **(2 бали)**:

а) $\partial^2 t/\partial x^2 + \partial^2 t/\partial y^2 = 0;\ \mu_{\text{р}}\left(\partial^2 w_x/\partial x^2 + \partial^2 w_x/\partial y^2\right) = -\rho_{\text{р}} g + \partial p/\partial x$;

б) $\partial^2 t/\partial x^2 + \partial^2 t/\partial y^2 = 0;\ \mu_{\text{р}}\left(d^2 w_x/dx^2 + d^2 w_x/dy^2\right) = -\rho_{\text{р}} g$;

в) $d^2 t/dy^2 = 0;\ \ \mu_{\text{р}}\left(d^2 w_x/dy^2\right) = -\rho_{\text{р}} g$.

4. Визначити товщину плівки конденсату, м, при конденсації сухої насиченої нерухомої водяної пари тиском $p = 1{,}98\cdot10^5$ Па на вертикальній трубі на відстані 1м від її верхнього кінця, якщо температура поверхні труби 100 °С **(4 бали)**.

а) 0,003; б) $5{,}31\times10^{-3}$; в) $5{,}24\times10^{-4}$; г) $1{,}61\times10^{-4}$; д) $1{,}76\times10^{-2}$.

5. Які умови необхідні для виникнення процесу кипіння **(2 бали)**?

а) перегрівання рідини відносно температури насичення $t_{\text{н}}$ та наявність центрів пароутворення; б) перегрівання рідини відносно $t_{\text{н}}$; в) наявність центрів пароутворення; в) змочування поверхні рідиною; г) наявність поверхні теплообміну.

6. Чим можна пояснити збільшення інтенсивності теплообміну при пузирковому кипінні зі зростанням тиску рідини та її перегріву **(2 бали)**?

а) зростанням температури насичення; б) зміною густини рідини; в) зменшенням критичного радіуса пузирчика; г) зміною коефіцієнта теплопровідності рідини.

7. Визначити першу критичну густину теплового потоку, Вт/м^2, при кипінні, якщо тиск $1{,}013\cdot10^5$ Па **(3 бали)**:

а) $3{,}67\times10^4$; б) $5{,}43\times10^5$; в) $1{,}19\times10^6$; г) $1{,}19\times10^7$.

8. Визначити кутовий коефіцієнт $\varphi_{2,1}$ для системи двох тіл з поверхнями F_1 = 1 м^2 і F_2 = 3 м^2, що беруть участь у променистому теплообміні, якщо $\varphi_{1,2}$ = 0,3 **(3 бали)**.

а) 0,23; б) 0,65; в) 0,46; г) 0,10; д) 1,11.

9. Визначити дійсну температуру газу в каналі, якщо розміщена в ньому термопара показує 300 °С. Температура стінок каналу 150 °С. Коефіцієнт конвективної тепловіддачі до спаю термопар 60 Вт/(м^2·К), а її ступінь чорноти 0,8. **(4 бали)**.

а) 325; б) 357; в) 346; г) 413; д) 307.

10. Вкажіть, за якою формулою розраховується середній температурний напір між теплоносіями при прямотечії та протитечії **(2 бали)**:

а) $\Delta\bar{t} = \frac{1}{2}\left(\Delta t_б + \Delta t_м\right)$; б) $\Delta\bar{t} = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln\left(\Delta t_б / \Delta t_м\right)}$; в) $\Delta\bar{t} = \Delta\bar{t}_{прот}\ \varepsilon_{\Delta t}$; г) $\Delta\bar{t} = \Delta\bar{t}_{прям}\ \varepsilon_{\Delta t}$.

Задача

Визначити площу поверхні, м^2, випарника вакуумної водоопріснювальної установки, усередині труб якого(λ = 25 Вт/(м · К)) діаметром 32×2 мм і висотою 1 м відбувається пузиркове кипіння води під тиском 0,123·10^5 Па. Кипляча вода рухається зі швидкістю 0,4 м/с. Випарник обігрівається водою (коефіцієнт тепловіддачі 5000 Вт/(м^2·К)) з системи охолодження дизеля, температура якої на вході 75, а на виході 65 °С, а витрата 20 м^3/год. Втрати теплоти не враховувати. Температуру стінки прийняти рівною середній між температурами теплоносіїв. Використати формулу для плоскої стінки **(8 балів)**.

Тестове завдання № 10 (90 хвилин, 34 бали)

1. Як залежить густина теплового потоку $q_с$ від температурного напору Δt при ламінарній течії плівки конденсату на вертикальній поверхні в рішенні Нусельта **(2 бали)**?

а) $q_с = c\Delta t^{3/4}$; б) $q_с = c\Delta t^{0,25}$; в) $q_с = c\Delta t^{-0,25}$; г) $q_с = c\sqrt{\Delta t}$.

2. Що характеризує число Рейнольдса при конденсації пари **(2 бали)**?

а) гідродинаміку плівки конденсату; б) інтенсивність теплообміну; в) гідродинаміку плівки конденсату та інтенсивність теплообміну; г) фізичні властивості конденсату.

3. Для яких умов конденсації пари отримана формула Нусельта **(2 бали)**?

а) пара нерухома, перегріта, чиста, а течія плівки конденсату турбулентна; б) пара нерухома, чиста, суха насичена, а течія плівки конденсату ламінарна; в) пара рухома, чиста, суха насичена, а течія плівки ламінарна; г) течія плівки конденсату ламінарна.

4. Визначити, на якій висоті, м, від верхньої кромки вертикальної стінки відбувається перехід від ламінарного режиму руху плівки конденсату до змішаного при конденсації сухої насиченої нерухомої водяної пари тиском 4,76·10^5 Па, якщо температура поверхні труби 140 °С **(4 бали)**.

а) 1,834; б) 3,435; в) 2,137; г) 0,895; д) 1,041.

5. Як впливає збільшення тиску та перегріву рідини на загальну кількість центрів пароутворення **(2 бали)**?

а) загальна кількість центрів зменшується; б) загальна кількість центрів збільшується; в) загальна кількість центрів спочатку зростає, а потім зменшується; г) загальна кількість центрів пароутворення не змінюється.

6. Вкажіть, коли має місце криза кипіння 2-роду **(2 бали)**:

а) при переході вільноконвективного в пузирковий режим; б) при переході пузиркового кипіння в плівкове; в) при переході пробкового режиму в стрижневий при кипінні в трубах; г) при переході стрижневого режиму в дисперсний при кипінні в трубах.

7. Визначити температуру, ^{o}C, зовнішньої поверхні труби діаметром 25 мм і довжиною 0,6 м, внутрішня сторона якої обігрівається електронагрівником потужністю 5 кВт. На поверхні труби кипить вода під тиском $4{,}76 \cdot 10^5$ Па **(3 бали)**:

а) 145,4; б) 173,2; в) 158,5; г) 160,1; д) 152,8.

8. Визначити максимум спектральної густини потоку випромінювання, Вт/м^3, абсолютно чорного тіла з t = 100 ^{o}C **(3 бали)**:

а) $1{,}238\times10^6$; б) $7{,}654\times10^7$; в) $4{,}978\times10^8$; г) $1{,}513\times10^9$; д) $3{,}499\times10^{10}$.

9. Визначити потік результуючого випромінювання, кВт, між двома сірими тілами з температурами 1000 ^{o}C та 100 ^{o}C, якщо $\varphi_{1,2} = 0{,}4$, $F_1 = 1$ м^2 та $\varepsilon_1 = 0{,}1$, а $F_2 = 3$ м^2 та $\varepsilon_2 = 0{,}2$ **(4 бали)**.

а) 9,45; б) 11,52; в) 12,66; г) 0,76; д) 1,34.

10.Характер зміни температур теплоносіїв у теплообміннику залежить від **(2 бали)**:

а) схеми руху і співвідношення водяних еквівалентів; б) схеми руху і витрат теплоносіїв; в) витрат теплоносіїв та їх середніх температур; г) температур теплоносіїв на вході та їх водяних еквівалентів.

Задача

Визначити площу поверхні, м^2, конденсатора вакуумної водоопріснювальної установки, яка необхідна для конденсації 0,1 кг/с сухої насиченої пари тиском $0{,}123\cdot10^5$ Па. Кондесатор виконаний з горизонтальних труб (λ = 25 Вт/(м · К)) діаметром 25×2 мм, усередині яких рухається охолоджуюча забортна вода з температурою на вході 5, а на виході 15 ^{o}C. Коефіцієнт тепловіддачі для води 5000 Вт/(м^2·К). Пару вважати нерухомою. Переохолодження конденсату, а також втрати теплоти не враховувати. Температуру стінки прийняти рівною середній між температурами теплоносіїв. Використати формулу для плоскої стінки **(8 балів)**.

Додаток 4

Результати перегляду робочої програми навчальної дисципліни «Тепломасообмін»

Теми лекцій

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
	Разом		

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
	Разом		

Зміни до робочої програми навчальної дисципліни «Тепломасообмін» розглянуто на засіданні *кафедри теплотехніки*

Протокол №___ від «___»_____202 р.

Завідувачка кафедри теплотехніки _____ / Г.О. Кобалава /

Зміни до робочої програми навчальної дисципліни «Тепломасообмін» узгоджено з *гарантом освітньої програми* **«Теплоенергетика»**
канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки

Гарант освітньої програми _____ / В.С. Корнієнко /