

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Фізико-технічний факультет
Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор _____

“ _____ ” _____ 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Теорія тепло- та масопереносу

(назва навчальної дисципліни)

напрямок підготовки аспіранта (PhD) освітньо-науковою програмою

«105, Прикладна фізика і наноматеріали»

(шифр і назва напрямку підготовки)

спеціальність 105, Прикладна фізика і наноматеріали

(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація доктор філософії (PhD)

(назва спеціалізації)

інститут, факультет фізико-технічний

(назва інституту, факультету)

Івано-Франківськ
2022 рік

Робоча програма «*Теорія тепло- та масопереносу*» для підготовки здобувачів третього рівня вищої освіти – доктора філософії спеціальності «105, Прикладна фізика і наноматеріали» “___” _____, 2022 р. – 12 с.

Розробники: (вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)
Будзуляк І. М. – професор кафедри матеріалознавства і новітніх технологій, доктор фізико-математичних наук, професор

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри матеріалознавства і новітніх технологій

Протокол № 1 від “29” серпня 2022 р.

Завідувач кафедри матеріалознавства і новітніх технологій

“29” серпня 2022 р. _____ Богдан ОСТАФІЙЧУК

Схвалено методичною комісією фізико-технічного факультету.

Протокол від “30” серпня 2022 р. № 1

“30” серпня 2022 р.

Голова _____
(підпис)

Михайло ЯЦУРА
(прізвище та ініціали)

© Прикарпатський національний
університет імені Василя Стефаника,
2022 рік

1. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників | Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень | Характеристика навчальної дисципліни | |
|--|--|---|-----------------------|
| | | денна форма навчання | заочна форма навчання |
| Кількість кредитів – 3 | Галузь знань <u>10 Природничі науки</u> | Вибіркова | |
| Модулів – 1 | Спеціальність (професійне спрямування): <u>105, Прикладна фізика і наноматеріали</u> | Рік підготовки: | |
| Змістових модулів – 2 | | 2-й | ____-й |
| Індивідуальне науково-дослідне завдання – реферат | | Семестр | |
| Загальна кількість годин – 90 | | 3-й | |
| | | Лекції | |
| Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 30 самостійної роботи студента – 60 | Освітньо-кваліфікаційний рівень: <u>доктор філософії (PhD)</u> | 20 год. | |
| | | Практичні, семінарські | |
| | | 10 год. | |
| | | Лабораторні | |
| | | ____ год. | ____ год. |
| | | Самостійна робота | |
| | | 60 год. | |
| | | Індивідуальні завдання: ____ год. | |
| | | Вид контролю: <u>екзамен</u> | |

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – **0,5**

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни «Теорія тепло- та масопереносу» є: логічно послідовне формування у аспіранта знань про процеси конвективного переносу теплоти і маси компонента суміші при різних режимах руху середовища, перенесення теплоти в твердих тілах шляхом теплопровідності, методи математичного опису цих процесів.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни «Теорія тепло- та масопереносу» є: формування у аспірантів правильного мислення в даній області знань; глибокого розуміння фізичних основ теорії тепло-і масообміну, методології цієї науки; вміння аналізувати вплив основних параметрів зазначених процесів на основні характеристики теплообміну і масообміну; знання методики виконання розрахунків різних процесів конвективних теплообміну і масообміну, кондуктивного теплообміну.

1.3. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми аспіранти повинні:

знати :

- механізми і закони перенесення теплоти і маси;
- методи аналізу процесів теплообміну;
- поняття про складний теплообмін;
- елементи теорії подібності та її застосування при вивченні процесів переносу;
- фізичне і математичне моделювання процесів тепло- і масообміну.

вміти :

- проводити аналіз процесів тепло і масопереносу в різних агрегатах;
- вміти розраховувати основні параметри процесів масо- і теплопереносу;
- використовувати методи математичного моделювання для опису процесів масо- і теплопереносу.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 90 годин / 3 кредити ЄКТС.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Основні поняття і рівняння в теорії переносу маси і тепла

Тема 1. Основні поняття теорії тепло- і масопереносу

Поля температур і концентрацій. Види процесів тепло- і масообміну. Молекулярні теплопровідність і дифузія Потрійна аналогія. Конвективний тепло- і масообмін. Вимушена і природна конвекція. Задачі розрахунку конвективних тепло- і масовіддачі.

Тема 2. Диференціальні рівняння переносу маси, енергії, імпульсу

Рівняння масообміну. Рівняння теплопровідності. Рівняння руху. В'язкість рідини. Закон Ньютона для в'язкості.

Тема 3. Тепло- і масовіддача при вимушеному русі

Тепло- і масовіддача при вимушеному ламінарному русі рідини вздовж твердої поверхні. Розрахунок інтегральним методом. Аналіз результатів розрахунку. Вплив різних параметрів на коефіцієнти тепловіддачі і масовіддачі. Тепло- і масовіддача при вимушеному турбулентному русі рідини вздовж твердої поверхні. Розрахунок на основі гідродинамічної теорії тепло- і масообміну. Аналіз результатів у відповідності з ламінарним режимом. Тепловіддача при вимушеній стабільній ламінарній течії у трубі. Аналіз результатів. Тепловіддача при вимушеній стабільній турбулентній течії у трубі. Аналіз результатів.

Тема 4. Застосування теорії подібності для дослідження процесів конвективних тепло- і масовіддачі

Приведення постановки задачі до безрозмірного вигляду. Основні критерії подібності для процесів, що розглядаються. Необхідні і достатні умови подібності. Загальний вигляд розв'язків в критеріальній формі.

Змістовий модуль 2. Теорія теплообміну

Тема 5. Теплопровідність при стаціонарному режимі.

Загальна характеристика і основні задачі теорії теплопровідності. Виведення рівняння теплопровідності в різних формах. Канонічний вигляд цього рівняння. Крайові умови. Види граничних умов.

Тема 6. Теплопровідність при стаціонарному режимі.

Стаціонарне температурне поле в необмеженій пластині без внутрішніх джерел тепла при граничних умовах першого і третього роду. Теплопередача через плоску стінку. Внутрішній, зовнішній і сумарний термічні опори. Коефіцієнт теплопередачі. Стаціонарне температурне поле в циліндричній стінці без внутрішніх джерел тепла при граничних умовах першого і другого

роду. Теплопередача через циліндричну стінку. Внутрішній, зовнішній і сумарний лінійний термічні опори. Лінійний коефіцієнт теплопередачі. Критичний діаметр теплоізоляції.

Тема 7. Теплопровідність при нестационарному режимі.

Методи вирішення задач нестационарної теплопровідності. Нестационарне температурне поле без внутрішніх джерел тепла в плоскій стінці. Граничні умови третього роду. Фізичний зміст і роль критерію Біо. Нагрівання (охолодження) термічно тонких тіл. Граничні умови першого роду – граничний випадок термічної масивності. Граничні умови другого роду при постійній щільності теплового потоку на поверхні; регулярний тепловий режим за цих умов. Регулярний тепловий режим за граничних умов третього і першого роду. Наближений (числовий) розв'язок задачі нестационарної теплопровідності з граничними умовами третього роду під час радіаційного теплообміну з навколишнім середовищем. Приведення постановки задачі до безрозмірного вигляду. Основні критерії подібності для розглянутих процесів. Необхідні і достатні умови подібності. Загальний вигляд розв'язків у критеріальній формі.

4. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-----------|-----|------|-----------|
| | денна форма | | | | | |
| | усього | у тому числі | | | | |
| л | | п | лаб | інд | с.р. | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Модуль 1 | | | | | | |
| Змістовий модуль 1. | | | | | | |
| Основні поняття і рівняння в теорії переносу маси і тепла | | | | | | |
| Тема 1. Основні поняття теорії тепло- і масопереносу | 14 | 3 | 2 | | | 9 |
| Тема 2. Диференціальні рівняння переносу маси, енергії, імпульсу | 12 | 2 | 1 | | | 9 |
| Тема 3. Тепло- і масовіддача при вимушеному русі | 13 | 3 | 1 | | | 9 |
| Тема 4. Застосування теорії подібності для дослідження процесів конвективних тепло- і масовіддачі | 12 | 2 | 1 | | | 9 |
| Разом за змістовим модулем 1 | 51 | 10 | 5 | | | 36 |
| Змістовий модуль 2. | | | | | | |
| Теорія теплообміну | | | | | | |
| Тема 5. Теплопровідність при стаціонарному режимі. | 14 | 4 | 2 | | | 8 |
| Тема 6. Теплопровідність при стаціонарному режимі. | 14 | 4 | 2 | | | 8 |
| Тема 7. Теплопровідність при нестационарному режимі. | 11 | 2 | 1 | | | 8 |
| Разом за змістовим модулем 1 | 39 | 10 | 5 | | | 24 |
| Усього годин | 90 | 20 | 10 | | | 60 |

5. Теми семінарських занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|-------|------------|-----------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| ... | | |
| | | |
| | | |
| | | |

6. Теми практичних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|--|--|-----------------|
| Змістовий модуль 1. Основні поняття і рівняння в теорії переносу маси і тепла | | |
| 1 | Розрахунок коефіцієнта молекулярної дифузії. Коефіцієнт молекулярної дифузії газу в газі. Коефіцієнт молекулярної дифузії газів або краплинних рідин в рідинах. | 2 |
| 2 | Коефіцієнт масовіддачі та основні фактори, які впливають на нього. Масовіддача під час природної конвекції між вільною плоскою поверхнею води і повітрям. | 1 |
| 3 | Масовіддача під час вимушеної конвекції. Масовіддача між вільною плоскою поверхнею води і повітрям. | 1 |
| 4 | Складний теплообмін як сукупна одночасна дія теплопровідності, конвекції і випромінювання. Розрахунок товщини шару теплоізоляції для багатoshарової плоскої стінки. | 1 |
| Змістовий модуль 2. Теорія теплообміну | | |
| 5 | Коефіцієнт теплопровідності. Розрахунок коефіцієнта теплопровідності газів, рідин та твердих тіл. | 2 |
| 6 | Тепловіддача під час вільної (природної) конвекції. Вільна конвекція в необмеженому та замкнутому обмеженому просторах. Тепловіддача під час течії рідини (газу). | 2 |
| 7 | Теплообмін випромінюванням системи тіл з плоскопаралельними поверхнями в прозорому середовищі. Променевий теплообмін між тілами в замкнутому просторі. Променевий теплообмін між двома поверхнями, які довільно розташовані в просторі | 1 |
| | Разом | 10 |

7. Теми лабораторних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|-------|------------|-----------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| ... | | |
| | | |
| | | |
| | | |

8. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|--|---|-----------------|
| Змістовий модуль 1. Основні поняття і рівняння в теорії переносу маси і тепла | | |
| 1 | Перший закон молекулярної дифузії Фіка. Коефіцієнт молекулярної дифузії. Коефіцієнт молекулярної дифузії газу в газі. Стаціонарна одномірна молекулярна дифузія. Коефіцієнт молекулярної дифузії газів або краплинних рідин в рідинах. | 9 |
| 2 | Основний закон конвективної масовіддачі. Коефіцієнт масовіддачі та основні фактори, які впливають на нього. Поняття про дифузійний приграничний шар. Диференційне рівняння конвективного масообміну в рухомому середовищі. Подібність процесів перенесення маси. Аналогія між перенесенням маси і теплоти. | 9 |
| 3 | Масовіддача під час природної конвекції між вільною плоскою поверхнею води і повітрям. Масовіддача під час вимушеної конвекції. Масовіддача між вільною плоскою поверхнею води і повітрям. Масовіддача з поверхні краплин води до повітря. | 9 |
| 4 | Складний теплообмін як сукупна одночасна дія теплопровідності, конвекції і випромінювання. Теплопередача за сталих температур теплоносіїв. Способи інтенсифікації теплопередачі. Теплова ізоляція. Розрахунок товщини шару теплоізоляції для багатошарової плоскої стійки та технологічного обладнання. | 9 |
| Змістовий модуль 2. Теорія теплообміну | | |
| 5 | Основні поняття і рівняння в теорії переносу тепла і маси. Основний закон теплопровідності Фур'є. Диференційне рівняння теплопровідності. Умови однозначності. Перенесення теплоти теплопровідністю за стаціонарного режиму. Однорідна та багатошарова плоска стінка. Однорідна та багатошарова циліндрична стінка. | 8 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 6 | Основний закон конвективного теплообміну. Коефіцієнт тепловіддачі та основні фактори, які впливають на нього. Поняття про гідродинамічний і тепловий приграничні шари. Тепловіддача під час вільної (природної) конвекції. Вільна конвекція в необмеженому та замкнутому обмеженому просторах. Природна конвекція між вільною плоскою поверхнею води і повітрям. | 8 |
| 7 | Основні закони променевого теплообміну. Закони Планка, Віна, Стефана-Больцмана, Кірхгофа та Ламберта. Теплообмін випромінюванням системи тіл з плоскопаралельними поверхнями в прозорому середовищі. Променевий теплообмін між тілами в замкнутому просторі. Коефіцієнт опромінення тіла. Використання екранів для захисту від випромінювання. Теплове випромінювання газів. | 8 |
| | Разом | 60 |

9. Індивідуальні завдання

10. Методи навчання

Лекції, презентації, семінарські заняття, захист рефератів, індивідуальна робота

11. Методи контролю

Поточний контроль, контрольне тестування, реферат

12. Розподіл балів, які отримують аспіранти

| | | | | | |
|---|---------|-----------------------|---------|----------------------------------|------|
| Поточне тестування та самостійна робота | | | | Підсумковий тест (екзамен) | Сума |
| Змістовий модуль 1 | | Змістовий модуль 2 | | 50 | 100 |
| Поточний контроль | Реферат | Поточний контроль | Реферат | | |
| 10 | 15 | 10 | 15 | | |

Шкала оцінювання: національна та ECTS

| Сума балів за всі види навчальної діяльності | Оцінка ECTS | Оцінка за національною шкалою | |
|---|----------------|---|---|
| | | для екзамену, курсового проекту (роботи), практики | для заліку |
| 90 – 100 | A | відмінно | зараховано |
| 80 – 89 | B | добре | |
| 70 – 79 | C | | |
| 60 – 69 | D | задовільно | |
| 50 – 59 | E | | |
| 26 – 49 | FX | незадовільно з можливістю повторного складання | не зараховано з можливістю повторного складання |
| 0-25 | F | незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни | не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни |

13. Методичне забезпечення

1. Рисунок, схеми.

14. Рекомендована література

1. Кривандин В.А., Арутюнов В.А., Белоусов В.В. и др. Теплотехника металлургического производства. В 2^х томах. Т.1 Теоретические основы: Учебное пособие для вузов – М.: МИСиС, 2002.– 343с.
2. Арутюнов В.А., Левицкий И.А., Шибалов С.Н. Теплотехника и теплоэнергетика металлургических процессов. Раздел. Механика газов. Лабораторный практикум. – М.: МИСиС, 1994. – 99с.
3. Телегин А.С., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г. Тепломассоперенос: Учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1995. – 400с.
4. Телегин А.С., Швыдкий В.С., Ярошенко В.Г. Тепломассоперенос. М.: Металлургия, 1995. 400 с.
5. Гуцин С.Н., Телегин А.С., Лобанов В.И., Корюков В.Н. Теплотехника и теплоэнергетика металлургического производства. М.: Металлургия. 1993. - 366 с.
6. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. И доп. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 550 с
7. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990 - 366 с.