



# Теорія переносу

## Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>142 Енергетичне машинобудування</i>
Освітня програма	<i>ОНП Енергетичне машинобудування</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна, навчальні дисципліни для здобуття глибинних знань зі спеціальності</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, осінній</i>
Об'єм дисципліни	<i>3 кредити ЄКТС (90 годин), 14 годин лекції, 2 години практичні заняття, 23 години індивідуальні заняття, 51 година самостійна робота</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен/ модульна контрольна робота, реферат</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., ст.н.с., Сорокова Н.М., <a href="mailto:n.sorokova@ukr.net">n.sorokova@ukr.net</a> Практичні: д.т.н., ст.н.с., Сорокова Н.М., <a href="mailto:n.sorokova@ukr.net">n.sorokova@ukr.net</a> Лабораторні: <i>не передбачено</i></i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://campus.kpi.ua">https://campus.kpi.ua</a>, <a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4434">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4434</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна «Теорія переносу» відноситься до циклу дисциплін для здобуття наукових компетентностей здобувачів ступеня доктора філософії (PhD) теплоенергетичних спеціальностей.

Теорія переносу енергії, імпульсу, маси речовини і поля – один з найважливіших напрямків сучасної науки. Вивчення процесів тепломасообміну і фазових перетворень має велике значення для енергетики, машинобудування та більшості галузей промисловості.

**Предметом навчальної дисципліни** є фундаментальні знання про положення та розвиток теорії явищ переносу від експериментально підтверджених гіпотез Фур'є, Фіка і Ньютона, що лежать в основі класичної теорії переносу субстанції, методів феноменологічного дослідження процесів переносу Онсагера і де Грота, що названі термодинамікою необоротних процесів, та сучасної молекулярно-радіаційної теорії тепломасо-переносу Нікітенко М.І., яка на відміну від феноменологічної теорії дозволяє отримати динамічні і кінетичні характеристики речовини.

**Метою навчальної дисципліни** є підготовка фахівців вищої кваліфікації для теплоенергетичної та суміжних галузей промисловості, здатних до самостійної науково-дослідної і науково-інноваційної діяльності та комплексного і системного аналізу проблем енергетичного машинобудування; формування у здобувачів загальнокультурних і професійних здатностей (компетентностей), таких як

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1);
- здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері енергетичного машинобудування та дотичних до неї міждисциплінарних напрямів і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з енергетичного машинобудування та суміжних галузей (ФК1);

- здатність розробляти, застосовувати та удосконалювати математичні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення складних завдань у технічних та природничих системах (ФК9).

В результаті вивчення навчальної дисципліни здобувачі вищої освіти набудуть таких загальних програмних результатів навчання:

- розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у сфері енергетичного машинобудування та дотичних міждисциплінарних напрямках (ПРН4).

- глибоко розуміти сучасні проблеми науково-технічного розвитку науки і техніки враховуючи світові досягнення в галузях енергетики та енергетичного машинобудування з урахуванням техніко-економічних і екологічних напрямів, знати і застосовувати сучасні технології енерго- та ресурсозбереження (ПРН8).

## 2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізити дисципліни: для засвоєння матеріалу дисципліни необхідні знання з термодинаміки, гідрогазодинаміки, тепломасообміну і математичного моделювання теплообмінних процесів.

Постреквізити дисципліни: Теорія турбулентності; дисципліни за темою дисертації (вибіркові компоненти освітньої програми).

## 3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. Розвиток феноменологічної теорії процесів переносу.

Тема 1.1. Основні положення класичної теорії переносу.

Тема 1.2. Основні положення феноменологічної теорії переносу.

РОЗДІЛ 2. Основи молекулярно-радіаційної теорії процесів переносу.

Тема 2.1. Молекулярно-радіаційна теорія теплопереносу.

Тема 2.2. Молекулярно-радіаційна теорія процесів дифузії, теплоємності і теплопровідності.

Тема 2.3. Молекулярно-радіаційна теорія випаровування.

Тема 2.4. Конвективний тепломасообмін.

## 4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Якібчук П.М., Клим М.М. Молекулярна фізика. Підручник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка. 2013. – 584 с. [https://physics.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/yakibchuk\\_molek\\_fiz.pdf](https://physics.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/yakibchuk_molek_fiz.pdf)
2. Фрейк Н.Д., Ільків Н.Б. Ентропія у поглядах природничих наук. Фізика і хімія твердого тіла. Т. 12, № 3 (2011) С. 809-814. <http://page.if.ua/uploads/pcss/vol12/1203-42.pdf>
3. Боровий М.О., Цареградська Т.Л., Куницький Ю.А., Каленик О. Невпорядковані системи та квазікристали. ТОВ НВП "Інтерсервіс", 2014, 228с.

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література.

4. Sorokovaya N.N., Snezhkin, Yu.F., Shapar' R. A, Sorokovoi R.Ya. Mathematical Simulation and Optimization of the Continuous Drying of Thermolabile Materials. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, – 2019, Volume 92, Issue 5, pp 1180–1190. DOI [10.1007/s10891-019-02032-3](https://doi.org/10.1007/s10891-019-02032-3)
5. Герасимов О.І, Андріанова І.С. Фізична кінетика радіонуклідів. Конспект лекцій. Одеський державний екологічний університет. 2008. [http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/495/1/Gerasymov\\_Andrianova\\_FizKinetikaRad\\_Kons\\_2008.pdf](http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/495/1/Gerasymov_Andrianova_FizKinetikaRad_Kons_2008.pdf)
6. Сорокова Н.М. Математичне моделювання динаміки тепломасообміну в процесах сорбції і сушіння в апаратах періодичної і безперервної дії: дис. докт. техн. Наук: 05.14.06 / Сорокова Наталія Миколаївна. – К., 2017. – 326 с. [http://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/11/diser\\_sorocovaja.pdf](http://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/11/diser_sorocovaja.pdf).

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено лекційні та практичні заняття

**Лекція 1.** Предмет і задачі курсу «Теорія переносу». Етапи розвитку теорії переносу. Основні положення класичної теорії явищ переносу.

Місце теорії переносу в сучасній науці, техніці і промисловості. Існуючі підходи при вивченні тепломасообмінних процесів: класична теорія; молекулярно-кінетичний і статистичний підходи; феноменологічний підхід (термодинаміка нерівноважних процесів); молекулярно-радіаційна теорія. Поняття субстанції. Гіпотези Фур'є, Фіка, Ньютона. Проходження і опис нерівноважних процесів в розріджених газах. Узагальнене рівняння переносу. Закони Фур'є, Фіка. Закон Ньютона.

**Тема для індивідуальної роботи (2 год):** Закон Ньютона. Закон Ома для густини потоку струму. Фізика процесів переносу у вакуумі. Поняття потоку і джерела субстанції. Універсальний характер класичної теорії явищ переносу. Перехресні ефекти Дюфура, Сорє, Зебека, Пельє.

**Лекція 2.** Розвиток феноменологічної теорії переносу. Основні положення термодинаміки нерівноважних процесів.

Принцип локальної термодинамічної рівноваги. Виробництво ентропії, локальні функції дисипації і швидкості виробництва ентропії, потоки субстанції що переноситься. Теорема Онзагера. Принцип Кюрі. Процеси переносу потоку і джерела субстанції. Диференційного рівняння переносу субстанції (маси, енергії, імпульсу) Умова.

**Тема для індивідуальної роботи (3 год)** Диференційні рівняння переносу маси речовини, переносу енергії, переносу імпульсу.

**Лекція 3.** Диференційне рівняння переносу субстанції для систем, що деформуються.

Основи теорії взаємопов'язаних процесів тепломасопереносу та деформування твердих тіл при наявності фазових і хімічних перетворень. Отримання рівняння переносу субстанції для деформованих систем. Рівняння масопереносу та енергії для деформованих систем.

**Тема для індивідуальної роботи (3 год):** Визначення відносної об'ємної деформації для тіл простої геометрії на основі аналітичного рішення ДР термоконцентраційного деформування.

**Лекція 4.** Рівняння стану багатокомпонентної системи при проходженні процесів тепломасопереносу і пружного деформування.

Отримання системи рівнянь, що характеризує стан ізотропної багатокомпонентної системи при проходженні процесів тепломасопереносу і пружнопластичного деформування.

**Тема для індивідуальної роботи (3 год):** Диференційні рівняння переносу імпульсу та енергії у відкритих системах, що деформуються. Класифікація задач термоконцентраційного деформування. Пластинчасті деформації багатокомпонентних систем.

**Лекція 5.** Тепломасоперенос при високоінтенсивних нестационарних процесах. Молекулярно-радіаційний механізм тепломасопереносу.

Припущення нескінченно великої швидкості розповсюдження теплових збурень при отриманні рівняння теплопровідності Фур'є. Залежність між рухомими силами і потокам при високоінтенсивних процесах переносу. Гіперболічне рівняння теплопровідності Вернота і Катанео. Радіаційний механізм теплопровідності. Носії субстанцій.

**Тема для індивідуальної роботи (1 год):** Енергетичний рівень частинок тіла.

**Лекція 6.** Рівняння балансу енергії для частинки тіла та інтегродиференційне рівняння енергії. Закон інтенсивності спектрального випромінювання частинок Нікітенко М.І.

Отримання рівняння балансу енергії для частинки тіла. Закон випускання енергії частинками речовини Нікітенко М.І. Коефіцієнт випускання енергії  $\epsilon$ . Інтегро-диференціальне рівняння переносу енергії матеріальними носіями. Закон інтенсивності спектрального випромінювання частинок

**Тема для індивідуальної роботи (2 год):** Розподіл Максвелла–Больцмана. Теорія теплоємності конденсованих тіл.

Молекулярно-радіаційна теорія випаровування

**Тема для індивідуальної роботи (4):**

Недоліки існуючого феноменологічного підходу опису процесів випаровування. Інтенсивність випаровування через пласку поверхню конденсованого тіла. Максимальна відстань частинки від вільної поверхні конденсованого тіла, при якій вона може від нього відірватися. Густина потоку частинок, що випаровуються. Густина потоку частинок що конденсуються. Формули Нікітенко М.І. для: тиску насичення, рівноважної товщини шару конденсату, інтенсивності фазових перетворень.

Інтенсивність випаровування через криволінійну опуклу поверхню. Інтенсивність випаровування через криволінійну вигнуту поверхню.

**Лекція 7.** Молекулярно - радіаційна теорія дифузійних процесів

Існуючі підходи до розрахунку коефіцієнтів дифузії в конденсованих тілах. Їх недоліки. Механізми дифузійного переносу в твердих тілах. Теорія дифузії в рідких середовищах. Дифузія внаслідок активізації ступенів вільності атомів. Формула Нікітенко М.І. для коефіцієнта дифузії в конденсованих середовищах.

**Тема для самостійної роботи (1 год):** Дифузія внаслідок активізації атомів.

**Практичне заняття.** Модульна контрольна робота.

**Практичне заняття. (індивідуальна робота 3 год)** Чисельні різницеві методи рішення рівнянь молекулярного і молекулярно-конвективного переносу субстанції.

Сутність методу сіток. Побудова явної і неявної схем за методом кінцевих різниць. Існуючі різницеві апроксимації диференціальних рівнянь молекулярного переносу субстанції. Існуючі різницеві апроксимації диференціальних рівнянь молекулярно-конвективного переносу субстанції.

**Практичне заняття (індивідуальна робота 2 год).** Чисельні різницеві методи рішення систем рівнянь молекулярного і молекулярно-конвективного тепломасопереносу і фазових перетворень.

Комбіновані різницеві схеми. Методи рішення рівнянь молекулярного і молекулярно-конвективного переносу субстанції на основі трьохшарової явної і трьохшарової явної перерахункової різницевої схем Нікітенко М.І. Побудова кінцево-різницевої апроксимації рівнянь переносу енергії і маси.

## **6. Самостійна робота аспіранта**

*Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено у якості індивідуального завдання написання реферату. Тема реферату обирається аспірантом. Обсяг часу, який відводиться на виконання індивідуального завдання: 15 годин самостійної роботи. Пропоновані теми рефератів надано у Додатку 2. Реферат проходить перевірку на співпадіння. Виконання і захист реферату оцінюється згідно РСО (п.8).*

## **Політика та контроль**

### **7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- обов'язкове відвідування лекцій, а також готовність відповідей при опитуванні;
- необхідне виконання таких вимог: активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення мобільних телефонів; відповідно до завдання викладача використання засобів зв'язку для пошуку інформації в Інтернеті;
- заохочувальні бали надаються у відповідності до «системи оцінювання результатів навчання», штрафні бали є засобом протидії плагіату та несвоєчасному виконанню завдань;
- політика дедлайнів та перескладань полягає у виконанні поточних модульних робіт і реферату до початку сесії;
- політика щодо академічної доброчесності відповідає загальним положенням, прийнятим у «КПІ ім. Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>);
- політика навчальної дисципліни спрямована на розвиток індивідуальних здібностей в напрямку набуття компетентностей щодо створення та модернізації сучасних енергетичних систем, унікального обладнання в енергетичній галузі, а також в напрямку розширення сфер застосування отриманих знань, умінь і досвіду.
- за бажанням аспірантів, допускається вивчення матеріалу за допомогою онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

#### **Академічна доброчесність**

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

#### **Норми етичної поведінки**

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

### **8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

Система оцінювання складається з:

- оцінювання активності у обговоренні питань тем аудиторних занять;
- виконання МКР, реферату згідно з вимогами та критеріями оцінювання;
- виконання екзаменаційної роботи.

Слід дотримуватися правил відвідування занять.

На заняттях викладається теоретичний матеріал, надаються методичні рекомендації та розвиваються навички, необхідні для виконання контрольних завдань. Тому відвідування впливає на результати аудиторної і самостійної роботи аспіранта, підготовку до контрольних заходів.

Вагома частина рейтингу аспіранта формується за рахунок самостійної роботи та виконання реферату, активної участі в роботі аудиторних занять.

У разі виявлення академічної недобросовісності у виконаній модульній контрольній роботі та реферату – результати не враховуються.

Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається.

Реферат проходить перевірку на ознаки співпадіння.

#### **Заохочувальні та штрафні бали**

##### *Заохочувальні бали*

Написання тез, статті, участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни + 5 бали

Написання проблемної доповіді за тематикою СРС + 5 балів

##### *Штрафні бали*

Невчасне завершення роботи над рефератом – 5 балів

Невчасне виконання МКР (на не запланованому занятті) – 5 балів

РСО за освітнім компонентом має **стартову (мак 50 балів)** та **екзаменаційну (мак 50 балів)** складові.

**Стартова складова:** експрес-опитування на лекціях (6 лекцій), виконання індивідуальних занять, виконання і захист реферату.

**Екзаменаційна складова:** виконання екзаменаційної роботи.

**Аудиторні заняття:** За відповідь на аудиторному занятті можна отримати мак 6 балів. За участь у обговоренні теми та доповнення можна отримати 3 бали (мак 9 балів). Всього за роботу на аудиторних заняттях можна отримати мак 15 балів.

#### **Реферат:**

25...24 бали – тему реферату розкрито у повному обсязі, матеріал викладено логічно з відповідними висновками, аспірант показує глибокі знання з теми реферату, впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання під час захисту;

23...19 бал – тему реферату розкрито у повному обсязі з незначними помилками або неточностями, але в цілому матеріал викладено логічно з відповідними висновками, під час захисту аспірант показує знання з теми реферату, майже впевнено відповідає на поставлені запитання;

18...15 балів – тему реферату розкрито у повному обсязі з незначними помилками або неточностями, матеріал викладено здебільшого логічно, з нечітко сформульованими висновками, під час захисту аспірант виявляє невпевненість, показує слабкі знання з теми реферату, не завжди дає вичерпні відповіді на запитання;

0 балів – реферат не виконано взагалі, або тему реферату не розкрито, немає висновків або вони носять декларативний характер, під час захисту аспірант не може відповісти на жодне поставлене запитання з теми реферату.

#### **Модульна контрольна робота (МКР)**

Максимальна кількість балів за МКР 10 балів.

Критерії оцінювання:

10 балів — повна вірна відповідь на завдання;

8...9 балів — відповідь має несуттєві помилки;

5...7 бали — неповна відповідь;

0...4 балів — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

#### **Екзамен (мак 50 балів)**

Екзаменаційне завдання складається з 3-х питань, за кожне з яких можна отримати 15 балів і 5 балів додаткові питання:

15...14 балів – повна правильна відповідь на запитання або не менше 90% необхідної інформації;

13...11 балів – повна відповідь на запитання з незначними помилками/неточностями або не менше 75% необхідної інформації;

10...9 балів – майже повна відповідь з незначними помилками/неточностями або не менше 60% необхідної інформації;

0 балів – відповідь відсутня/неправильна або менше 60% необхідної інформації.

#### **Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R<sub>d</sub>):**

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_c = r_1 + r_2 + r_3.$$

де  $r_i$  — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг:  $R_c = 15+25+10= 50$  балів.

**Умови допуску до екзамену:** семестровий рейтинг не менше 25 балів, виконані індивідуальні завдання, захищено реферат.

Студенти, які набрали у семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 25 балів, або не виконали умов допуску на екзамен, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Екзаменаційна складова  $R_3$  шкали дорівнює:  $R_3 = 50$  балів

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі екзамену за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = R_c + R_3 = 50 + 50 = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100–бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Аспірантам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливо (тобто  $R_c \geq 45$ ), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 50 + \frac{50 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де  $R$  – оцінка за 100–бальною шкалою;

$R_i$  – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

$R_c$  – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

$R_D$  – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

#### **Процедура оскарження результатів контрольних заходів**

Аспіранти мають право і можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (детальніше: [https://osvita.kpi.ua/2020\\_7-170](https://osvita.kpi.ua/2020_7-170), [https://document.kpi.ua/files/2020\\_7-170.pdf](https://document.kpi.ua/files/2020_7-170.pdf)).

Аспіранти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>).

## **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

### *1. Дистанційне навчання:*

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчаль-



них занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі zoom).

**2. Навчання в умовах правового режиму воєнного стану:**

- передбачає проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);
- у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

**3. Для аспірантів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):**

- сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;
  - сертифікатів, які підтверджують участь у науково-практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;
- публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.

**Додаток 1**

**Список питань для підготовки до МКР**

1. Основні положення класичної теорії явищ переносу. Гіпотези Фур'є, Фіка, Ньютона.
2. Поняття субстанції. Поняття потоку і джерела субстанції.
3. Зміна ентропії як критерій самочинного протікання процесу в ізольованій системі, абсолютне значення ентропії.
4. Термодинамічні потенціали. Метод термодинамічних потенціалів.
5. Основні положення феноменологічної теорії переносу субстанції. Принцип локальної рівноваги.
6. Теорія необоротних процесів Л. Онсагера. Залучення ентропії для опису термодинамічного стану адіабатно ізольованої системи.
7. Поняття термодинамічної рухомої сили та потоку субстанції (по Онсагеру). I теорема Онсагера.
8. Вираз для швидкості виникнення ентропії. Інші вирази для швидкості виникнення ентропії, які відповідають різним визначенням потоку теплоти.
9. Термодинамічні сили і пов'язані з ними потоки для різних видів субстанції. II теорема Онсагера.
10. Перехресні явища. Ефекти Зеебека, Пельтьє, Соре, Дюфура.
11. Формалізм і прикладне значення феноменологічної теорії переносу субстанції.
12. Дрібномасштабні і великомасштабні флуктуації.
13. Порухення другого начала термодинаміки при розгляді нерівноважних процесів.
14. Функція дисипації. Властивості функції дисипації. Теорема Гленсдорфа-Пригожина.
15. Принцип Кюрі. Його роль в нерівноважній термодинаміці?
14. Диференційне рівняння переносу субстанції Умова. Його отримання.
16. Диференційні рівняння переносу маси, енергії, імпульсу.
17. Диференційне рівняння переносу субстанції для систем, які деформуються.
18. Тепломасоперенос при високоінтенсивних нестационарних процесах. Гіперболічне рівняння теплопровідності Вернота і Катанео.
19. Рівняння дифузії Фіка і теплопровідності Фур'є. Коефіцієнти дифузії і теплопровідності в газах, рідких і твердих тілах.

**Додаток 2**

**Рекомендований список тем рефератів**

1. Порядок через флуктуації.
2. Термодинамічні потенціали. Метод термодинамічних потенціалів.
3. Термоелектричні явища. Ефекти Зеебека і Пельтьє.
4. Функція дисипації. Властивості функції дисипації. Теорема Гленсдорфа-Пригожина.
5. Принцип Кюрі. Його роль в нерівноважній термодинаміці.
6. Приклади використання теорії Онсагера.
7. Теорії теплоємності конденсованих тіл.
8. Теорії теплопровідності в конденсованих середовищах.
9. Історія відкриття фонону.

**Список питань на екзамен**

1. Основні положення класичної теорії явищ переносу. Гіпотези Фур'є, Фіка, Ньютона.
2. Поняття субстанції. Поняття потоку і джерела субстанції.
3. Зміна ентропії як критерій самочинного протікання процесу в ізольованій системі, абсолютне значення ентропії.
4. Термодинамічні потенціали. Метод термодинамічних потенціалів.
5. Основні положення феноменологічної теорії переносу субстанції. Принцип локальної рівноваги.
6. Теорія необоротних процесів Л. Онсагера. Залучення ентропії для опису термодинамічного стану адіабатно ізольованої системи. Поняття термодинамічної рухомої сили та потоку субстанції (по Онсагеру).
7. I теорема Онсагера.
8. Вираз для швидкості виникнення ентропії. Інші вирази для швидкості виникнення ентропії, які відповідають різним визначенням потоку теплоти.
9. Термодинамічні сили і пов'язані з ними потоки для різних видів субстанції. II теорема Онсагера.
10. Перехресні явища. Ефекти Зеебека, Пельтьє, Соре, Дюфура.
11. Формалізм і прикладне значення феноменологічної теорії переносу субстанції.
12. Функція дисипації. Властивості функції дисипації. Теорема Гленсдорфа-Пригожина.
13. Диференційне рівняння переносу субстанції Умова. Його отримання.
14. Диференційні рівняння переносу маси, енергії, імпульсу.
15. Диференційне рівняння переносу субстанції для деформуємих систем.
16. Тепломасоперенос при високоінтенсивних нестационарних процесах. Гіперболічне рівняння теплопровідності Вернота і Катанео.
17. Рівняння дифузії Фіка і теплопровідності Фур'є. Коефіцієнти дифузії і теплопровідності в газах, рідких і твердих тілах.
18. Молекулярно-радіаційний механізм тепломасопереносу.
19. Носії субстанцій. Рівняння балансу енергії для частинки тіла.
20. Інтегродиференційне рівняння переносу енергії матеріальними носіями.
21. Закон інтенсивності спектрального випромінювання частинок.
22. Кінетичне рівняння для розподілу частинок по енергіях. Функція розподілу частинок по енергіях в активаційних процесах.
23. Дифузійний перенос і коефіцієнти дифузії в конденсованих тілах.
24. Механізми дифузійного переносу в твердих тілах.
25. Механізм дифузії в рідких середовищах.
26. Дифузія внаслідок активізації ступенів вільності атомів.
27. Дифузія внаслідок активізації атомів.
28. Теорія теплопровідності в конденсованих середовищах.
29. Фотонний механізм теплопровідності.
30. Дифузійний механізм теплопровідності.
31. Механізм електронної теплопровідності.
32. Інтегродиференційне рівняння розповсюдження тепла в рухомому середовищі.
33. Інтенсивність випаровування через пласку поверхню конденсованого тіла.
34. Максимальна відстань частинки від вільної поверхні конденсованого тіла, при якій вона може від нього відірватися.
35. Формули для тиску насичення та рівноважної товщини шару конденсату.
36. Формула для інтенсивності фазових перетворень на поверхні конденсованого тіла.
37. Механізм заповнення і звільнення гофрованих пор.
38. Інтенсивність випаровування в об'ємі пористого тіла. і осушення внутрішньої випаровування в пористих системах.
39. Питома площа контакту рідкої і газової фаз в порах тіла.
40. Метод гальмування швидкостей зміни шуканих функцій.



**Складено** д.т.н., ст.н.с., професоркою, Сороковою Наталією Миколаївною

**Ухвалено** кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 15/а від 30. 06. 2022 р.)

**Погоджено** Методичною комісією ТЕФ (протокол № 9 від 30. 06. 2022 р.)