



## ТЕРМОДИНАМІКА І КІНЕТИКА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий) рівень
Галузь знань	Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G10 Металургія (2024)
Освітня програма	Металургія
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	5 кредитів ЕСКТС (150 год.), лекції - 28 год., практичні - 28 год., СРС – 94 год.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен / МКР
Розклад занять	За розкладом ( <a href="http://roz.kpi.ua/">http://roz.kpi.ua/</a> )
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекції: Могилатенко В.Г., професор, д.т.н. Практичні: Могилатенко В.Г., професор, д.т.н. <a href="mailto:mogylatenko.volodymyr@iill.kpi.ua">mogylatenko.volodymyr@iill.kpi.ua</a> , +38(066)-717-23-26 – Telegram та Viber
Розміщення курсу	<a href="https://classroom.google.com/u/1/c/NDEyOTY5NzUyNjA1">https://classroom.google.com/u/1/c/NDEyOTY5NzUyNjA1</a>

#### Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна належить до переліку дисциплін для здобуття глибоких знань зі спеціальності освітньо-наукової програми (ОНП) підготовки третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти «Металургія» 2024 року за спеціальністю «Металургія».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є термодинаміка, кінетика та механізми процесів взаємодії в металургійних системах, рафінування, розкиснення, дегазації, модифікування, кристалізації виливків.

Навчальна дисципліна розкриває роль термодинаміки металургійних систем, кінетики та механізмів взаємодій у металургійних системах у процесах керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення; сучасних методів теоретичного дослідження властивостей матеріалів, що відповідають наступним загальним і фаховим компетенціям:

«Термодинаміка і кінетика металургійних процесів» складено відповідно до освітньо-наукової програми підготовки ОКР «Доктор філософії з металургії» за спеціальністю 136 - Металургія галузі знань - 13 Механічна інженерія.

Термодинаміка та кінетика процесів є класичними основоположними розділами фізики, хімії та фізичної хімії, в тому числі і фізико-хімії процесів що відбуваються в металургії. На базі отриманих знань аспірант зможе самостійно проводити теоретичний аналіз будь-яких металургійних процесів, набуде здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі металургії, що передбачає переосмислення наявних і створення нових знань та/або професійної практики. Зможе плідно проводити науково-дослідну роботу у галузі металургія, що пов'язана з фізико-хімічними процесами та явищами, формуванням заданої структури та властивостей металургійної продукції.

Метою навчальної дисципліни є формування у докторантів компетентностей у відповідності до ОНП «Металургія» 2024 року, а саме:

<b>Загальні компетенції (ЗК)</b>	
<b>ЗК 04</b>	Здатність розв'язувати комплексні проблеми металургії на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.
<b>ЗК 06</b>	Здатність до абстрактного мислення, аналізу, синтезу та оцінки сучасних наукових досягнень, генерування нових знань при вирішенні дослідницьких і практичних завдань
<b>Фахові компетентності спеціальності (ФК)</b>	
<b>ФК 04</b>	Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у сфері металургії, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.
<b>ФК 07</b>	Здатність узагальнювати результати досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення.

Згідно з вимогами ОНП «Металургія» 2024 року докторанти після засвоєння дисципліни мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

<b>ПРН 03</b>	Використовувати необхідні для обґрунтування висновків докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні емпіричні дані.
<b>ПРН 05</b>	Планувати і виконувати експериментальні дослідження з металургії та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних обладнання та методик, аналізувати результати експериментів у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.
<b>ПРН 06</b>	Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, бази даних та інформаційні системи.

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

Дисципліна базується на освітніх компонентах першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти інженерно-технічних спеціальностей.

До пререквізитів дисципліни слід віднести вищу математику, фізику, хімію, фізичну хімію, теорію і технологію металургійного виробництва, теоретичні основи ливарного виробництва; теоретичні основи плавки і виробництва виливків.

Дисципліна забезпечує вивчення навчальних дисциплін освітнього компоненту 2 Ф-каталогу та створення наукової складової дисертації.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

**Вступ.** Загальна характеристика металургійних процесів. Основні завдання термодинаміки і кінетики металургійних реакцій.

### **Розділ 1. Хімічна термодинаміка**

Тема 1.1. Перший закон термодинаміки.

Тема 1.2. Другий закон термодинаміки.

Тема 1.3. Хімічна рівновага.

Тема 1.4. Елементи статистичної термодинаміки.

### **Розділ 2. Хімічна кінетика**

Тема 2.1. Хімічна кінетика елементарних реакцій.

Тема 2.2. Хімічна кінетика складних реакцій.

### **Розділ 3. Фізико-хімія металургійних систем**

Тема 3.1. Взаємодія газових атмосфер в металургійних процесах

Тема 3.2. Відновлення металів

Тема 3.3. Закономірності науглецювання та знеуглецювання металів, карбід металів

Тема 3.4. Основи теорії взаємодії металевих, оксидних і сульфідних розплавів.

Тема 3.5. Розкиснення металу, неметалеві і газові включення в металах.

Тема 3.6. Процеси рафінування металів і сплавів

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### *Базова література:*

(Усі видання наявні в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського та або в електронному вигляді за наведеними посиланнями)

1. Підручник: В.Я. Шурхал, В.К.Ларін, Д.Ф.Чернега, В.Г.Могилатенко та ін. Фізико-хімія металургійних систем і процесів. К.: Вища школа, 2000. - 407 с. <https://discovery.kpi.ua/Record/000063487>

##### *Допоміжна література:*

2. М.П.Волкотруб, Д.Ф. Чернега, В.Г.Могилатенко, В.О. Шаповалов. Процеси спеціальної електрометалургії. К.: Хімджест, 2014. 282 с. <https://discovery.kpi.ua/Record/000420744>

3. Готвянський Ю.Я. Фізико - хімічні та металургійні основи виробництва металів. Навчальний посібник . - К.: ІЗМН, 1996. - 392 с. <https://discovery.kpi.ua/Record/000090976>

4. Теоретичні основи процесів кольорової металургії: підручник / Ігнат'єв В.С., Пожувєв В.І., Бредихін В.М., Маняк М.О., Рабинович О.В., Грицай В.П., Шевелєв О.І., Червоний І.Ф.; заред. д.т.н., проф.. Червоного І.Ф.; Запоріж. держ. інж. акад. Запоріжжя, ЗДІА, 2012. - 200 с ISBN 978-966-8462-70-2. [https://drive.google.com/file/d/1slk3Kz4z4I\\_vXdokDAsPsfw6WiPuQR/view?usp=classroom\\_web&authuser=1](https://drive.google.com/file/d/1slk3Kz4z4I_vXdokDAsPsfw6WiPuQR/view?usp=classroom_web&authuser=1)

Аспіранти можуть самостійно шукати матеріали за окремими питаннями курсу, що забезпечує розвиток здатності до пошукової та дослідницької діяльності, критичного аналізу інформації.

##### **Навчальний контент**

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

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	<b>Тема 1.1. Перший закон термодинаміки</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Місце термодинаміки в металургії.</li><li>• Можливості термодинаміки.</li><li>• Завдання термодинаміки металургійних процесів.</li><li>• Місце кінетики процесів у металургії.</li></ul> <b>Завдання на СРС:</b> Опанувати наступні питання: <ul style="list-style-type: none"><li>- Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань.</li><li>- Завдання кінетики металургійних процесів.</li></ul>
2	<b>Тема 1.1. Перший закон термодинаміки</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Робота розширення ідеального газу.</li><li>• Застосування закону до процесів у будь-яких системах.</li><li>• Закон Гесса.</li><li>• Термохімія, теплоємність, тепловий ефект реакцій.</li></ul> <b>Завдання на СРС:</b> Підготовка до лекцій.
3	<b>Тема 1.2. Другий закон термодинаміки</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Основні поняття, принцип Каратеодорі, цикл Карно.</li><li>• Оборотні процеси, необоротні процеси, ентропія і її зміни.</li><li>• Енергії Гіббса та Гельмгольца, характеристичні функції, рівняння Гіббса-Гельмгольца.</li></ul> <b>Завдання на СРС:</b> Опанувати наступні питання: <ul style="list-style-type: none"><li>- Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань.</li><li>- Хімічний потенціал.</li><li>- Фугитивність, активність, коефіцієнт активності.</li></ul>

4	<p><b>Тема 1.3. Хімічна рівновага</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Рівняння ізотерми хімічної реакції.</li> <li>• Константа рівноваги, напрямок хімічної реакції.</li> <li>• Постулат Планка, абсолютні ентропії.</li> </ul> <p><b>Завдання на СРС:</b> Опанувати наступні питання:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань.</li> <li>- Визначення констант рівноваги.</li> </ul>
5	<p><b>Тема 1.4. Елементи статистичної термодинаміки</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Основні положення статистичної термодинаміки, ентропія та ймовірність.</li> <li>• Визначення термодинамічних функцій.</li> <li>• Константа рівноваги реакції.</li> </ul> <p><b>Завдання на СРС:</b> Опанувати наступні питання:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань.</li> <li>- Термодинамічні функції, обумовлені поступальним і електронним рухом, обертальним, коливальним та іншими видами руху.</li> </ul>
6	<p><b>Модульна контрольна робота</b></p>
7	<p><b>Тема 2.1. Хімічна кінетика елементарних реакцій</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Елементарні стадії реакції, складні реакції.</li> <li>• Швидкість утворення компонентів, відкриті системи.</li> <li>• Формальна кінетика реакцій.</li> </ul> <p><b>Завдання на СРС:</b> Опанувати наступні питання:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань.</li> <li>- Елементарні та формально прості гомогенні одnobічні реакції.</li> </ul>
8	<p><b>Тема 2.2. Хімічна кінетика складних реакцій</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Формальна кінетика складних реакцій: оборотних, паралельних, послідовних, автокаталітичних.</li> <li>• Стаціонарні та квазістаціонарні умови.</li> </ul> <p><b>Завдання на СРС:</b> Підготовка до лекцій.</p>
9	<p><b>Тема 3.1. Взаємодія газових атмосфер в металургійних процесах</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Термодинаміка хімічних реакцій в системах вуглець-окисник, водень-окисник, реакцій утворення та окиснення метану.</li> <li>• Кисневий потенціал.</li> </ul> <p><b>Завдання на СРС:</b> Опанувати наступні питання:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань.</li> <li>- Механізм і кінетика газових реакцій.</li> </ul>
10	<p><b>Тема 3.2. Відновлення металів</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Термодинаміка відновлення.</li> <li>• Металотермічне відновлення.</li> <li>• Відновлення газами.</li> <li>• Механізми відновлення.</li> </ul> <p><b>Завдання на СРС:</b> Опанувати наступні питання:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань.</li> <li>- Кінетика відновлення оксидів металів.</li> </ul>

11	<p><b>Тема 3.3. Закономірності науглецювання та знеуглецювання металів, карбіди металів</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Розчинність вуглецю в металах.</li> <li>• Термодинамічні закономірності утворення карбідів металів.</li> <li>• Закономірності науглецювання та знеуглецювання металів.</li> </ul> <p><b>Завдання на СРС:</b> Підготовка до лекцій.</p>
12	<p><b>Тема 3.4. Основи теорії взаємодії металевих, оксидних і сульфідних розплавів</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Окиснювальне рафінування металів в системі метал-шлак.</li> <li>• Процеси взаємодії за участю оксидних розплавів.</li> </ul> <p><b>Завдання на СРС:</b> Підготовка до лекцій.</p>
13	<p><b>Тема 3.5. Розкиснення металу, неметалеві і газові включення в металах.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Розкиснення металів.</li> <li>• Неметалічні включення в металах.</li> <li>• Розчинність та форми існування газів в металах.</li> </ul> <p><b>Завдання на СРС:</b> Опанувати наступні питання:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань.</li> <li>- Кінетика взаємодії металевих розплавів з газами.</li> </ul>
14	<p><b>Тема 3.6. Процеси рафінування металів і сплавів</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Рафінування ліквідацією, кристалізацією з розплаву, випаровуванням, сублимацією, конденсацією, ректифікацією.</li> </ul> <p><b>Завдання на СРС:</b> Опанувати наступні питання:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань.</li> <li>- Кінетика рафінування металів при переплавних процесах.</li> </ul>

#### Практичні заняття

**Основні завдання циклу практичних занять** полягають у формуванні у студентів практичних навичок і умінь в освоєнні теоретичних досліджень в сфері технологій металургії, уміння застосування необхідного розрахункового апарату, набуття здатностей розв'язувати комплексні проблеми, здійснювати власні наукові дослідження в сфері металургії, що передбачає створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань
1	<b>Термодинамічний розрахунок реакцій із застосуванням прикладних програм.</b>
2	<b>Розрахунок констант рівноваги реакцій із застосуванням прикладних програм.</b>
3	<b>Умови окиснення рідких заліза, нікелю та кобальту.</b>
4	<b>Рівновага хромонікелевих сплавів з кремнійвмісними вогнетривами.</b>
5	<b>Взаємодія металу з матеріалом тигля вакуумної індукційної печі.</b>
6	<b>Знеуглецювання високолегованих розплавів.</b>
7	<b>Видалення водню при знеуглецюванні</b>
8	<b>Розподіл сірки між металом і шлаком</b>
9	<b>Розрахунок швидкості спливання рідких та твердих неметалічних включень у розплаві.</b>
10	<b>Вплив конвекції на укрупнення та видалення неметалічних включень з розплаву</b>
11	<b>Зіставлення конвекції і спливання в процесі рафінування металу від неметалічних включень</b>
12	<b>Кінетична характеристика процесу випаровування домішки.</b>
13	<b>Визначення мінімальних концентрацій кисню, азоту і водню в рідкій низьковуглецевій сталі</b>

	при вакуумному обробленні.
14	Розрахунок зміни концентрації неметалічних включень при краплинному переносі кризь шар шлаку та бульбашкове видалення водню при ЕШП

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота аспіранта (загальна тривалість 94 години) з дисципліни полягає в: - підготовці до лекційних занять - з розрахунку 2 година на 1 лекцію (28 годин), підготовці до практичних занять - з розрахунку 2 година на 1 заняття (28 годин), підготовці до МКР та календарного контролю - 18 годин, підготовці до підсумкової атестації - екзамену (20 годин).

Самостійна робота здійснюється протягом всього семестру в рамках годин відповідно до робочого навчального плану підготовки.

Підготовка до лекцій: ознайомлення з матеріалами попередніх лекцій.

Підготовка до практичних робіт: ознайомлення з матеріалами лекцій стосовно тематики практичних робіт та освоєння необхідного розрахункового апарату.

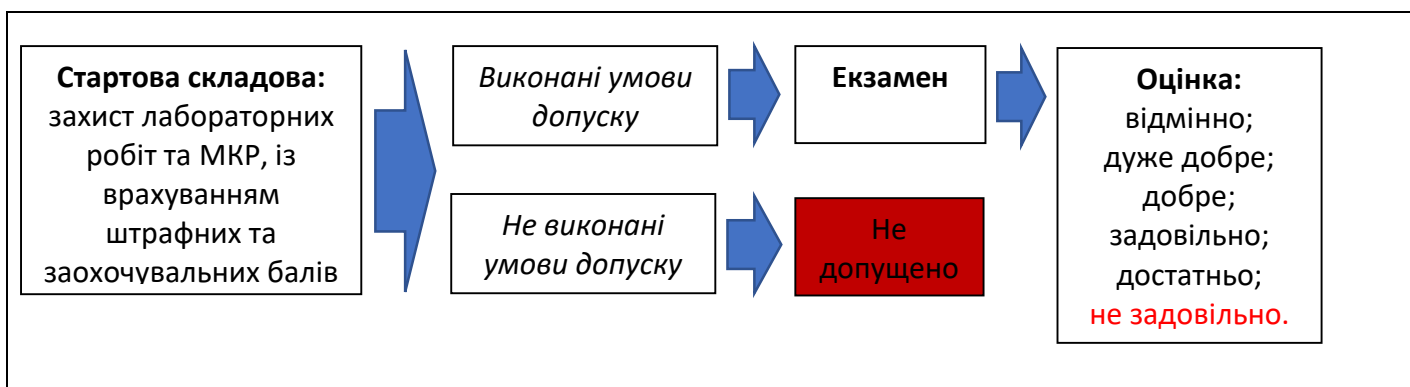
Вид самостійної роботи студентів	Кількість годин	Норма часу на підготовку, год.	Термін часу, год
Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань	28	0,5	28
Підготовка до практичних робіт	28	1	28
Підготовка до лабораторних робіт та опрацювання результатів	-	1,5	-
Підготовка до МКР	2	4	8
Підготовка до заліку	-	6	-
Підготовка до екзамену	1	30	30
		<b>Всього</b>	<b>94</b>

## 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- Пропущене лекційне заняття необхідно продивитись за допомогою матеріалів, розміщених у Google Classroom (за посиланням <https://classroom.google.com/u/1/c/NDEyOTY5NzUyNjA1>)
- У разі пропуску практичних занять необхідно попередити викладача і дізнатися про шляхи відпрацювання. Допускається використання власних ноутбуків. За відвідування практичних занять аспіранти не отримують бали: рейтинг аспіранта формує активна участь на практичних заняттях й підготовленість до них, а також виконання завдань протягом заняття.
- Користуватися мобільними телефонами під час екзамену заборонено.
- До екзамену допускаються студенти, які здали всі практичні завдання та здали модульну контрольну роботу.
- В усіх інших питаннях студент повинен керуватися Правилами внутрішнього розпорядку КПІ ім. Ігоря Сікорського і положенням про академічну доброчесність КПІ ім. Ігоря Сікорського: <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> та [https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/Polosen\\_pro\\_plasiat.pdf](https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/Polosen_pro_plasiat.pdf)

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

Оцінювання результатів навчання студентів відбувається за схемою:



**Контрольні заходи:**

1. Поточний контроль: виконання практичних завдань, МКР.
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
3. Семестровий контроль: екзамен.

**Таблиця видів контролю та максимальної кількості балів за них.**

Вид контролю	Кількість	Максимальна кількість балів на 1	Максимальна кількість балів
Виконання практичних завдань	14	3	42
МКР	1	18	18
Екзамен	1	40	40
<b>Всього</b>			<b>100</b>

**Оцінювання виконання практичних завдань:**

Критерії	Бали
до виконаного завдання немає зауважень, дані правильні відповіді при перевірці	3
є не принципові зауваження до виконаного завдання та/або дані відповіді з помилками при перевірці	2
є принципові зауваження до виконаного завдання та/або не дані відповіді (дані неправильні) при перевірці	робота не здана

Календарний контроль проводиться двічі на семестр 7 та 13 тижні навчання. Умовою позитивної оцінки під календарного контролю є наявність у здобувачів балів сумарно більше 50% від максимально можливої на момент проведення контролю.

Умовою допуску до екзамену є виконання всіх практичних робіт, здана МКР та сумарний семестровий рейтинг більше 35 балів. Семестровий рейтинг можна підвищити за рахунок заохочувальних балів (максимум на 6) шляхом виконання додаткових індивідуальних завдань (видає викладач).

На екзамені слухачу необхідно дати розгорнуті відповіді на 4 питання, кожне з яких оцінюється за наступними критеріями:

Критерії	Бали
правильна відповідь, можливо з несуттєвими зауваженнями, повнота відповіді більша 90%	9-10
є не принципові зауваження, повнота відповіді більша 75%	7-8
є принципові зауваження, але можна вважати що суть питання розкрита, повнота відповіді не менша 60%	6
суть питання не розкрита та/або повнота відповіді менша 60%	0

У випадку коли сумарна оцінка за екзамен менше 24 балів, екзамен вважається не зданим, при цьому бали не нараховуються. Для перескладання екзамену є дві додаткові спроби.

Отриманні слухачем рейтингові бали переводять в університетські оцінки за 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

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

Перелік завдань до СРС видається студентам на початку семестру, чітко повідомляються вимоги до самостійної роботи, строки її виконання, правила оформлення, критерії рейтингового оцінювання.

Всі питання, винесені для самостійного опанування, студенти мають оформлювати у вигляді стислого конспекту. Дата здачі СРС повідомляється на початку семестру.

Бали за рейтинговою системою проставляються у Кампусі в розділі Поточний контроль, результати атестації в розділі Атестація. Екзаменаційна відомість створюється і заповнюється в Кампусі, доступ до неї існує упродовж дня екзамену (виправлення і перездача наступного дня не допускаються).

При вивченні даної дисципліни використовуються навчальні посібники, друковані і електронні підручники, які розміщені в Google Classroom.

Спілкування з викладачем через Telegram та Viber, електронну пошту.

Перелік запитань до Модульної контрольної роботи та семестрового контролю наведено в Додатках.

#### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

Складено професор, д.т.н., доцент Могилатенко Володимир Геннадійович

посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ

Ухвалено кафедрою Ливарного виробництва НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 12 від 11.06.2025 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 11/25 від 26 червня 2025 р.)

**Перелік запитань для модульної контрольної роботи з дисципліни**

«Термодинаміка і кінетика металургійних процесів»

1. Які термодинамічні функції називаються термодинамічними потенціалами?
2. Які вихідні дані потрібні для обчислення ступеня повноти перебігу хімічної реакції?
3. Яка термодинамічна функція називається спорідненістю хімічної реакції?
4. Опишіть зв'язок хімічного потенціалу речовини з енергією Гіббса.
5. Які термодинамічні функції називаються стандартними?
6. За якою системою рівнянь обчислюється рівноважний склад газової фази хімічної реакції типу  $A_g + B_{тв} = A_{г}B_{г}$ ?
7. Як змінюються термодинамічні функції (ентальпія, ентропія, енергія Гіббса) при змішуванні двох речовин з утворенням ідеального розчину?
8. Як змінюються термодинамічні функції при утворенні неідеального розчину?
9. Які термодинамічні функції називають надлишковими?
10. Чи впливає наявність у розчині речовини  $j$  на активність речовини  $i$  в ньому?
11. Що відображують концентраційні параметри взаємодії?
12. Сформулюйте визначення поняття пружності дисоціації хімічної сполуки.
13. Чи є пружність дисоціації хімічної сполуки характеристикою її термодинамічної стійкості?
14. За яких умов термодинамічно можлива дисоціація (утворення) хімічної сполуки за стандартного стану системи?
15. Як впливає взаємна розчинність хімічної сполуки і продукту її дисоціації на пружність дисоціації?
16. У чому полягає суть принципу ступінчастості О. О. Байкова?
17. Які оксиди утворюються в системі залізо — кисень? Як вони називаються?
18. Нарисуйте та опишіть діаграму стану системи залізо — кисень.
19. Напишіть рівняння хімічних реакцій заліза з киснем за температур, нижчих і вищих від 843 К.
20. Як змінюється термодинамічна стійкість оксидів одного й того самого металу від нижчого до вищого оксиду?
21. Зіставте термодинамічну стійкість відповідних оксидів заліза і мангану.
22. Які оксиди утворюються в системі силіцій — кисень?
23. Охарактеризуйте поліморфізм кремнезему.
24. У чому полягає відмінність між конденсатною і газовою дисоціацією хімічної?
25. Охарактеризуйте термодинамічну стійкість карбонатів металів.
26. В якій послідовності змінюється спорідненість хімічних реакцій металів із киснем?
27. В якій послідовності змінюється термодинамічна стійкість нітридів металів?
28. Опишіть кінетичні особливості високотемпературного окиснення металів киснем.
29. За яких умов може утворюватись оксидна плівка на металах, яка захищає їх від подальшого окиснення?
30. У чому полягають особливості окиснення сплавів металів?

**Додаток Б****Питання для проведення письмової екзаменаційної роботи з дисципліни**

«Термодинаміка і кінетика металургійних процесів»

Питання для проведення екзаменаційної письмової роботи сформовані в білети по 4 запитання з різних розділів.

1. Які форми існування вуглецю в природі ви знаєте?
2. Нарисуйте і прокоментуйте графіки зміни приросту енергії Гіббса залежно від температури для хімічних реакцій у системі вуглець — кисень.
3. Як впливає нестандартність умов на зміну приросту енергії Гіббса хімічної реакції неповного окиснення вуглецю?
4. Проаналізуйте та відобразіть графічно вплив фізичних параметрів (температури і тиску) на рівноважний склад газової фази реакції Белла — Будуара.
5. Нарисуйте і прокоментуйте графіки зміни приросту енергії Гіббса для хімічних реакцій вуглецю з водяною парою.
6. Як змінюється спорідненість хімічної реакції водню з киснем залежно від температури?
7. Від яких параметрів залежить рівноважний склад газової фази реакції водяного газу?
8. Виведіть рівняння для обчислення ступеня дисоціації метану.

9. Які хімічні реакції відбуваються в системі метан — кисень?
10. Нарисуйте і прокоментуйте графіки залежності приросту енергії Гіббса від температури для реакцій взаємодії метану з вуглекислим газом і водяною парою.
11. Нарисуйте і прокоментуйте графіки функції  $\Delta G^\circ = f(T)$  для хімічних реакцій у системі азот — кисень.
12. Які газові атмосфери називаються контрольованими? Схарактеризуйте їх склад та способи отримання.
13. За якими рівняннями можна обчислити кисневий потенціал сумішей газів  $\text{CO} - \text{CO}_2$  і  $\text{H}_2 - \text{H}_2\text{O}$ ?
14. За яких умов термодинамічно можливе ланцюгове самозаймання сумішей водню з киснем?
15. За яких умов можливе теплове самозаймання сумішей газів?
16. Опишіть особливості механізмів окиснення оксиду вуглецю (II) і метану.
17. Опишіть механізм окиснення вуглецю киснем.
18. Напишіть і прокоментуйте рівняння, за яким можна обчислити швидкість витрачання кисню під час його хімічної взаємодії з вуглецем.
19. Опишіть механізм окиснення вуглецю у вологому середовищі за нерозгалуженою ланцюговою реакцією.
20. Опишіть механізми хімічної взаємодії вуглецю з водяною парою та оксидом вуглецю (IV).
21. За яким механізмом відбувається процес розкладання оксиду вуглецю (II)?
22. Опишіть особливості окиснення (горіння) вуглецю в шарі вугілля та коксу в доменній печі.
23. За яких умов термодинамічно можлива реакція відновлення оксиду металу  $\text{MeO}$  відновником В?
24. Опишіть вплив нестандартних умов на перебіг у системі хімічної реакції відновлення металу з оксиду відновником В.
25. В якому разі термодинамічно ймовірніше відновлення металу: з простої чи із складної хімічної сполуки?
26. Відновлений метал утворює хімічну сполуку з іншим елементом. Чи сприяє це процесу відновлення?
27. Які хімічні елементи чи сполуки можуть бути використані як відновники заліза з його оксиду  $\text{FeO}$ ?
28. У чому полягає суть металотермічного відновлення металів? За яких умов це термодинамічно можливе? Наведіть приклади таких процесів.
29. За яких умов термодинамічно можливе відновлення металу з оксиду  $\text{MeO}$  газуватим відновником В?
30. На які групи поділяються оксиди металів за їх здатністю до відновлення воднем?
31. Напишіть рівняння хімічних реакцій відновлення оксидів заліза воднем та зобразіть графічно зміну рівноважних складів газової фази для них залежно від температури.
32. Нарисуйте та прокоментуйте діаграму зміни складу рівноважної газової фази реакцій відновлення оксидів заліза оксидом вуглецю (II).
33. За якими рівняннями можна обчислити склад рівноважної газової фази для реакцій відновлення оксидів заліза сумішами газів  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2$ ?
34. Чи можна використати метан як відновник заліза з його оксидів?
35. За якими механізмами може відбуватися карботермічне відновлення оксиду металу?
36. Нарисуйте і прокоментуйте діаграму, яка відображує відновлення оксидів заліза вуглецем за посередністю реакції Белла — Будуара.
37. Опишіть послідовність хімічних реакцій під час відновлення металу вуглецем із розплаву оксидів.
38. Опишіть особливості карботермічного відновлення металів у вакуумі.
39. Опишіть механізм твердофазового відновлення оксиду металу (на прикладі відновлення оксиду нікелю залізом).
40. Напишіть і проаналізуйте рівняння Мак-Кевана.
41. За яких ланок складається процес відновлення оксиду металу газуватим відновником з позицій адсорбційно-каталітичної та двостадійної теорій?
42. На чому ґрунтується загальна математична модель відновлення оксиду металу газуватим відновником (модель професора С. Т. Ростовцева)?
43. Порівняйте швидкості відновлення оксидів заліза воднем та оксидом вуглецю (II).
44. Як впливає температура на швидкість відновлення оксидів заліза газуватим відновником?
45. Як впливає розмір часточок рудного матеріалу на кінетику процесу відновлення?
46. Як впливає склад газової фази на швидкість відновлення оксидів заліза?
47. Відомо, що реакції відновлення оксидів воднем відбуваються без зміни числа молів газуватих компонентів. Чим пояснити експериментально встановлений факт впливу тиску на кінетику реакцій відновлення оксидів заліза?
48. Як називаються розчини вуглецю в залізі?
49. Які карбіди утворюються в системі залізо — вуглець? Їх термодинамічна стійкість.
50. Якими способами отримують карбіди металів? Для чого вони використовуються?

51. Як розподіляються метали за термодинамічною стійкістю їхніх карбідів?
52. Якими хімічними реакціями супроводжується процес науглецювання заліза в середовищі суміші газів CO і CO<sub>2</sub>?
53. Нарисуйте та опишіть діаграму, яка ілюструє процес науглецювання заліза в середовищі суміші газів CO і CO<sub>2</sub>.
54. За яких співвідношень потенціалів вуглецю в конденсованій і газовій фазах термодинамічно можливе науглецювання (знеуглецювання) металу?
55. За якою схемою відбувається процес науглецювання металу в суміші газів CH<sub>4</sub> і H<sub>2</sub>?
56. Нарисуйте та опишіть діаграму, яка ілюструє процес науглецювання заліза в складних газових середовищах типу H<sub>2</sub>— H<sub>2</sub>O — CO — CO<sub>2</sub> — CH<sub>4</sub>.
57. Наведіть приклади технологічних процесів науглецювання та знеуглецювання металів.
58. Який зв'язок між атомами називається металічним?
59. Якими параметрами характеризується упорядкованість розміщення атомів (іонів) у кристалічній решітці?
60. На яких експериментальних фактах ґрунтується гіпотеза про близькість будови розплаву металу і твердого тіла поблизу температури ліквідусу?
61. Яку інформацію несе в собі функція радіального розподілу атомів (ФРРА)?
62. Які дані про ФРРА різних металів свідчать про подібність їх будови у рідкому стані?
63. Сформулюйте основні положення молекулярної теорії будови оксидних розплавів (шлаків).
64. Які експериментальні факти свідчать на користь іонної теорії будови шлаків у стані рідини?
65. Яку структуру мають силікати залежно від співвідношення MeO:SiO<sub>2</sub>?
66. опишіть модель досконалого іонного розчину (розплаву), яка ґрунтується на іонній теорії будови шлаків.
67. опишіть модель мікронеоднорідності електролітів.
68. Які властивості шлаків належать до хімічних?
69. Нарисуйте та опишіть діаграму стану системи CaO — SiO<sub>2</sub> — Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
70. Чи однаково впливає температура на в'язкість основного і кислого шлаків?
71. Який вигляд мають ізотерми в'язкості розплаву залежно від типу сплаву в стані твердого тіла?
72. Як впливають домішки на в'язкість заліза?
73. Як впливає основність шлаку на його в'язкість?
74. Напишіть і прокоментуйте рівняння Юнга.
75. Чи залежить поверхневий натяг металів від їхньої електронної будови в стані твердого тіла?
76. Як впливають домішки на поверхневий натяг розплавленого заліза?
77. Яким рівнянням описується вплив температури на поверхневий натяг розплаву заліза?
78. Напишіть і прокоментуйте рівняння, яке описує правило Антонова.
79. Як впливають оксиди та сульфіди заліза і мангану на міжфазовий натяг у системі розплав шлаку — розплав заліза?
80. В яких випадках розплав металу змочує поверхню твердого оксиду?
81. Які хімічні реакції лежать в основі окиснювального рафінування металів?
82. Якими факторами визначається послідовність і повнота окиснення елементів- домішок у розплаві заліза?
83. Які фактори впливають на розподіл кисню між шлаковим та металевим розплавами?
84. Виведіть рівняння для коефіцієнта розподілу хімічного елемента між шлаковим та металевим розплавами.
85. Яким рівнянням відображується залежність між концентраціями вуглецю і кисню в розплаві заліза?
86. опишіть механізм окиснення вуглецю, розчиненого в залізі (на прикладі мартенівської плавки сталі).
87. Виведіть формулу для визначення коефіцієнта розподілу мангану між шлаковим та металевим розплавами. Які фактори сприяють переходу мангану із шлаку в метал?
88. Напишіть і поясніть формулу для визначення коефіцієнта розподілу силіцію між шлаковим і металевим розплавами.
89. Які фактори впливають на коефіцієнт розподілу фосфору між шлаковим та металевим розплавами?
90. В якому порядку розміщуються (в міру зростання) хімічні елементи за спорідненістю їх хімічних реакцій до сірки?
91. В якій послідовності зростає термодинамічна стійкість сульфатів металів?
92. Які хімічні реакції відбуваються під час окиснення піриту киснем?
93. За яких умов термодинамічно ймовірна хімічна реакція Me<sub>I</sub>S + Me<sub>II</sub> = Me<sub>II</sub>S + Me<sub>I</sub>.
94. В якому разі термодинамічно ймовірна хімічна взаємодія між оксидом і сульфідом одного й того самого металу?
95. Які фактори впливають на коефіцієнт розподілу сірки між розплавами шлаку і металу (заліза)?

- 96.3 якою метою проводиться розкислення металу?
97. Які методи застосовуються для розкислення сталі?
98. У чому полягає суть осадового розкислення металу?
99. В якій послідовності розміщуються хімічні елементи за здатністю розкислювати залізо, мідь?
100. Які недоліки та переваги властиві осадовому розкисленню?
101. З урахуванням яких вимог підходять до вибору розкислювача для осадового розкислення металу?
102. У чому полягає суть дифузійного розкислення металу?
103. Які речовини можна використовувати для дифузійного розкислення заліза?
104. У чому полягає суть вакуумного розкислення вуглецевмісних сплавів?
105. З яких хімічних елементів і сполук складаються неметалеві включення в металах
106. 136. Які включення належать до ендогенних?
107. Внаслідок чого утворюються екзогенні неметалеві включення?
108. На які класи поділяються ендогенні неметалеві включення?
109. У чому полягає шкідлива дія неметалевих включень у металах?
110. Як можна досягти укрупнення неметалевих включень у розтоці металу?
111. Напишіть і прокоментуйте формулу Стокса.
112. Які гази можуть розчинятися в залізі (сталі)?
113. В якій формі існують гази в металах та сплавах?
114. Якими методами можна визначити вміст газу в металі?
115. У чому полягає негативний вплив водню на властивості металу?
116. Як змінюється вміст двохатомного газу в металі залежно від його парціального тиску в газовій фазі?
117. Опишіть вплив температури на розчинність водню в залізі.
118. У чому полягає вплив азоту на властивості сталей?
119. Як змінюється розчинність азоту в залізі залежно від температури?
120. Як впливають елементи-домішки на розчинність водню в залізі?
121. На які групи поділяються хімічні елементи за впливом на розчинність водню (азоту) в залізі (сталі)?
122. В якій послідовності відбувається процес видалення газу з металу?
123. В якій формі перебуває водень у розплаві шлаку?
124. Опишіть механізм переходу водню з атмосфери печі в розплавлений шлак.
125. Як впливає основність на розчинність водню в розплаві, до складу якого входять оксиди CaO, SiO<sub>2</sub> та FeO?
126. На які види (типи) поділяються процеси рафінування металів і сплавів?
127. У чому полягає суть явища ліквідації?
128. Дайте визначення коефіцієнта ліквідації речовини-домішки між двома рідинами, які контактують.
129. Від яких факторів залежить абсолютне значення коефіцієнта розподілу домішки між фазами, що контактують?
130. На які типи поділяються ліквідаційні процеси рафінування металів від свинцю?
131. Опишіть процес ліквідаційного рафінування цинку.
132. У чому полягає суть методу ліквідаційно-кристалізаційного рафінування металу?
133. Опишіть процес ліквідаційно-газифікаційного рафінування.
134. У чому полягає суть методу екстракційно-ліквідаційного рафінування?
135. Опишіть відомі вам методи рафінування металів кристалізацією із розплаву.
136. Яким рівнянням описується залежність пружності пари металу від температури?
137. У чому полягає суть методу розділення сумішей дистиляцією (перегонкою)?
138. Який процес розділення сумішей називається ректифікацією?
139. Через які реакційні зони проходить крапля металу, що відривається від торця електрода?
140. Якими показниками характеризується ефективність рафінування металу від домішки в переплавному процесі?
141. Опишіть особливості процесу рафінування металу при електрошлаковому перетопленні.
142. Чим зумовлена висока ефективність видалення газів із розплаву металу під час вакуумних перетопних процесів?
143. У чому полягають особливості рафінування та розкислювання металу в процесі позапічного вакуумування розплаву?
144. Опишіть механізм видалення водню з металу в процесі позапічного вакуумування розплаву металу.
145. Від яких факторів залежить залишкова концентрація сірки в металі після обробки синтетичним шлаком?