

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю. М. ПОТЕБНИ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ



Директорка Інженерного навчально-наукового
інституту ЗНУ ім. Ю. М. Потебні
Наталія МЕТЕЛЕНКО
(підписав та погодилася)
2023

Моделювання процесів кольорової металургії
РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

підготовки магістрів
очної (денної) та заочної (дистанційної) форм здобуття освіти
спеціальності **136 Металургія**
освітньо-професійна програма «Металургія кольорових металів»

Укладач Скачков В.О. д.т.н., професор кафедри МТЕБ

Обговорено та ухвалено
на засіданні кафедри металургійних
технологій, екології та техногенної безпеки

Протокол № 1 від "29" серпня 2023 р.
Завідувач кафедри МТЕБ

Юрій БСЛОКОНЬ
(підписав, погодився)

Погоджено
Гарант освітньо-професійної програми

Тетяна НЕСТЕРЕНКО
(підписав, погодився)

Ухвалено науково-методичною радою
ІННІ ім. Ю. М. Потебні

Протокол № 1 від "30" серпня 2023 р.
Голова науково-методичної ради ІННІ ім.
Ю. М. Потебні

Тетяна ШАРАПОВА
(підписав, погодився)

Погоджено
Відповідальний за секцію «Металургійний
профіль»

Оксана ВОДЕННИКОВА
(підписав, погодився)

2023 рік

1. Опис навчальної дисципліни

1	2	3	
Галузь знань, спеціальність, освітня програма рівень вищої освіти	Нормативні показники для планування і розподілу дисципліни на змістові модулі	Характеристика навчальної дисципліни	
		очна (денна) форма здобуття освіти	заочна (дистанційна) форма здобуття освіти
Галузь знань 13 Механічна інженерія	Кількість кредитів – 4	Обов'язкова	
		Цикл професійної підготовки освітньої програми	
Спеціальність 136 Металургія	Змістових модулів – 6	Семестр:	
Освітньо-професійна програма Металургія кольорових металів		Загальна кількість годин – 120	2 -й
	Лекції		
	24 год.		8
Рівень вищої освіти: магістерський	Кількість поточних контрольних заходів – 13	Практичні	
		12 год.	4
		Самостійна робота	
		84 год.	108
		Вид підсумкового семестрового контролю: Залік	

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання дисципліни є надбання студентами чітких уявлень про основи методологічних питань моделювання, правил та методики математичного моделювання.

Основними завданнями вивчення дисципліни є:

- опанування засобів моделювання та створення математичних моделей дійсних металургійних процесів;
- отримати уявлення про принципи побудови та основні вимоги до математичних моделей та методів оптимізації;
- оволодіти сучасними методами моделювання та дослідження металургійних процесів;
- набути навичок щодо застосування сучасної комп'ютерної техніки при моделюванні технологічних процесів кольоровій металургії.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- види моделей;
- структуру процесу моделювання моделей і систем;
- теорію подоби при моделюванні.

вміти:

- використовувати фізичні закони для моделювання;
- будувати моделі різних кінетичних реакцій, тепло- і масоперенесення;
- застосовувати експериментально-статистичні методи математичного опису;
- використовувати регресійний аналіз при будівництві математичні моделі різних металургійних процесів за допомогою обчислювальної техніки.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути таких результатів навчання (знання, уміння тощо) та компетентностей:

Заплановані робочою програмою результати навчання та компетентності	Методи і контрольні заходи
1	2
Загальні компетентності: ЗК2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. ЗК3. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності). ЗК4. Здатність працювати в міжнародному контексті.	Методи: Наочні методи (схеми, моделі, алгоритми). Словесні методи (лекція, пояснення, робота з підручником). Практичні методи (творчі завдання, контрольні, складання схем і алгоритмів). Логічні методи (індуктивні, дедуктивні, створення проблемної ситуації). Проблемно-пошукові методи (репродуктивні). Метод формування пізнавального інтересу (навчальна дискусія, створення цікавих ситуацій).
Спеціальні (фахові, предметні) компетентності: СК1. Здатність розробляти та реалізовувати проекти в сфері металургії, а також дотичні до неї міждисциплінарні проекти. СК8. Здатність приймати ефективні рішення в металургії.	Методи: Дослідницький (самостійна робота, проекти). Наочні методи (схеми, моделі, алгоритми). Проблемно-пошукові методи (репродуктивні).

СК9. Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми металургії в широких та мультидисциплінарних контекстах, у нових або незнайомих середовищах за наявності неповної або обмеженої інформації з урахуванням аспектів соціальної та етичної відповідальності. СК11. Здатність застосувати методи та засоби розрахунку технологічних режимів процесів кольорової металургії і комплексного впровадження у промисловий сектор у період повоєнного відновлення СК 12. Здатність застосувати методи та засоби розрахунку технологічних режимів процесів кольорової металургії і комплексного впровадження у промисловий сектор у період повоєнного відновлення	Практичні методи (творчі завдання, контрольні, складання схем і алгоритмів). Логічні методи (індуктивні, дедуктивні, створення проблемної ситуації). Метод формування пізнавального інтересу (навчальна дискусія, створення цікавих ситуацій).
Програмні результати навчання: РН2. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її, обирати оптимальні методи та здійснювати статистичний аналіз даних. РН4. Вільно спілкуватися державною та англійською мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері металургії та ширшого кола інженерних питань, презентації результатів досліджень та інноваційних проєктів. РН10. Застосовувати сучасні математичні методи, цифрові технології та спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач і проблем металургії. РН13. Забезпечувати потрібні техніко-економічні показники при керуванні складними металургійними процесами. РН 14 Розуміння теоретичних та технологічних навичок для дослідження, аналізу та впровадження технологій процесів виробництва кольорових металів, сплавів та іншої продукції кольорової металургії із рудної і вторинної сировини, у тому числі з брухту пошкодженої і зруйнованої військової техніки. РН 15. Вміння використовувати методи та засоби розрахунку технологічних режимів процесів кольорової металургії і комплексного впровадження у промисловий сектор у період повоєнного відновлення.	Методи контролю і самоконтролю (усний, письмовий, програмований). Контрольні заходи: теоретичне тестування за змістовим модулем, надання звіту із виконання лабораторної роботи, підсумкове розрахункове завдання, підсумкове тестування.

Міждисциплінарні зв'язки. Дисципліна «Моделювання процесів кольорової металургії» базується на знаннях, які були отримані при вивченні дисциплін «Сучасні проблеми металургії», «Теоретичні основи наукових досліджень в металургії». Набуті студентом знання та навички з дисципліни «Моделювання процесів кольорової

металургії» будуть необхідні їм при написанні випускного дипломного проекту (роботи), у подальшій професійній діяльності.

Набуті при вивченні даного курсу знання необхідні для подальшого вивчення металургії сплавів різноманітних марок та подальшої дослідницької діяльності в металургії кольорових та чорних металів та інших галузях науки та техніки.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1 - Поняття математичного моделювання.

Модель і моделювання. Поняття моделі. Види моделей. Призначення і функції моделей. Структура процесу моделювання. Поняття системи. Елементи системи. Зв'язки системи. Класифікація систем. Основні характеристики випадкових величин. Випадкова величина. Закон розподілу. Функція розподілу. Щільність розподілу. Математичне очікування. Дисперсія. Властивості систем.

Змістовий модуль 2. Методи моделювання

Детерміністичний і стохастичний підхід до моделювання. Детерміністичний підхід моделювання. Концептуальні моделі. Фізичні моделі. Основи теорії подоби. Основні положення теорії подоби. Математичні моделі. Стохастичний підхід до моделювання. Подоба при імовірнісному характері явищ, що вивчають. Відповідність між структурами об'єктів.

Змістовий модуль 3. Моделювання термодинамічних процесів

Математичний опис термодинамічних закономірностей. Перший закон термодинаміки. Робота. Рівняння ідеального газу. Внутрішня енергія. Ізохорний процес. Ізотермічний процес. Ізобарний процес. Математичний опис термохімічних розрахунків. Ентальпія. Теплоємність. Температурна залежність теплоємності. Ентропія. Рівновага хімічних реакцій.

Змістовий модуль 4. Моделювання процесів перенесення методом балансів

Рівняння кінетики гомогенних реакцій. Порядок реакції. Гетерогенні реакції. Розчинення вапна в сталеплавильному шлаку. Модель формування хімічного складу шихти. Метод балансів у процесів моделювання. Математичний опис металургійних процесів. Рівняння матеріального і енергетичного балансів. Моделювання розгалужених металургійних процесів. Моделювання процесу одержання глинозему.

Змістовий модуль 5. Методи регресійного та кореляційного аналізів

Регресійний аналіз. Ідея регресійного аналізу. Метод найменших квадратів. Шляхи отримання вихідних даних. Перевірка значимості коефіцієнтів регресії. Перевірка адекватності моделі. Взаємозв'язок низки випадкових послідовностей. Парна кореляція випадкових величин. Коефіцієнти парної кореляції. Коефіцієнти порядкової кореляції. Ранги випадкових величин. Значення величини R^2 .

Змістовий модуль 6. Планування експерименту

Активний факторний експеримент. Створення матриці планування. Натуральні і кодовані перемінні. Повний факторний експеримент. Дробовий факторний експеримент. Коефіцієнти рівняння регресії.

4. Структура навчальної дисципліни

Змістовий модуль	Усього годин	Аудиторні (контактні) години						Самостійна робота, год		Система накопичення балів		
		Усього годин		Лекційні Заняття, год		Практичні заняття, год				Теор. зав-ня, к-ть балів	Практ. зав-ня, к-ть балів	Усього балів
				о/д ф.	з/ди ст ф.	о/д ф.	з/дист ф.	о/д ф.	з/дист ф.			
1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	15	6	3	4	2	2	1	14	18	5	5	10
2	15	6	1	4	1	2		14	18	5	5	10
3	15	6	2	4	1	2	1	14	18	5	5	10
4	15	6	2	4	2	2		14	18	5	5	10
5	15	6	2	4	1	2	1	14	18	5	5	10
6	15	6	2	4	1	2		14	18	5	5	10
Усього за змістові модулі	90	36	12	24	8	12	4	84	108	30	30	60
Підсумковий семестровий контроль Залік	30											40
Загалом	120									100		

5. Теми лекційних занять

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		о/д ф.	з/дист ф.
1	2	3	4
1	Лекція 1. Модель і моделювання. Поняття моделі. Види моделей. Призначення і функції моделей. Структура процесу моделювання. Поняття системи. Елементи системи. Зв'язки системи. Класифікація систем. Лекція 2. Основні характеристики випадкових величин. Випадкова величина. Закон розподілу. Функція розподілу. Щільність розподілу. Математичне очікування. Дисперсія. Властивості систем.	4	2
2	Лекція 3. Детерміністичний і стохастичний підхід до моделювання. Детерміністичний підхід моделювання. Концептуальні моделі. Фізичні моделі. Основи теорії подоби. Основні положення теорії подоби. Математичні моделі. Стохастичний підхід до моделювання. Подоба при імовірнісному характері явищ, що вивчається. Відповідність між структурами об'єктів. Лекція 4. Математичний опис термодинамічних закономірностей. Перший закон термодинаміки. Робота.	4	2

	Рівняння ідеального газу. Внутрішня енергія. Ізохорний процес. Ізотермічний процес. Ізобарний процес. Математичний опис термохімічних розрахунків. Ентальпія. Теплоємність. Температурна залежність теплоємності. Ентропія. Рівновага хімічних реакцій.		
3	Лекція 5. Рівняння кінетики гомогенних реакцій. Порядок реакції. Гетерогенні реакції. Розчинення вапна в сталеплавильному шлаку. Модель формування хімічного складу шихти. Лекція 6. Математичний опис металургійних процесів. Рівняння матеріального і енергетичного балансів.	4	2
4	Лекція 7. Моделювання розгалужених металургійних процесів. Моделювання процесу одержання глинозему. Лекція 8. Регресійний аналіз. Ідея регресійного аналізу. Метод найменших квадратів.	4	2
5	Лекція 9. Шляхи отримання вихідних даних. Перевірка значимості коефіцієнтів регресії. Перевірка адекватності моделі. Лекція 10. Методи кореляційного аналізу	4	2
6	Лекція 11. Активний факторний експеримент. Створення матриці планування. Натуральні і кодовані перемінні. Повний факторний експеримент. Лекція 12. Дробовий факторний експеримент. Коефіцієнти рівняння регресії.	4	2
Разом		24	12

6. Теми практичних занять

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		о/д ф.	з/дист ф.
1	2	3	4
1	Завдання №1: Моделювання матеріальних потоків при виробництві глинозему. Розробка блок-схеми процесу.	2	2
2	Завдання №2: Розрахунок розподілу матеріальних потоків при по схемі Байєра.	2	
3	Завдання №3: Розробка моделі розрахунку складу шихти для виплавки заданого сплаву.	2	
4	Завдання №4: Розрахунок складу шихти для виплавки заданого сплаву.	2	
5	Завдання №5: Регресійний аналіз. Побудувати регресивну модель розрахунку по методу найменших квадратів. Розрахунок залежності твердості робочого слою у крупних валків прокатних станів із легованого чугунка з кулястим графітом	2	2
6	Завдання №6: Розробка методу розрахунку виробничої	2	

	ділянки, що складається з печей для плавки, кранів, розливних каналів з достатньою кількістю кристалізаторів і з достатньою кількістю вагонеток для вивозу злитків. Розрахунок виробничої ділянки		
Разом		12	4

7. Види і зміст поточних контрольних заходів

№ змістового модуля	Види поточних контрольних заходів	Зміст поточного контрольного заходу	*Критерії оцінювання	Усього балів
1	2	3	4	5
1	Тест 1	Питання для підготовки: Модель і моделювання. Поняття моделі. Види моделей. Призначення і функції моделей. Структура процесу моделювання. Поняття системи Елементі системи. Зв'язки системи. Класифікація систем. Випадкова величина. Закон розподілу. Функція розподілу. Щільність розподілу. Математичне очікування. Дисперсія.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 0,5 бали.	5
	Практична робота № 1	Вимоги до виконання та оформлення: Практична робота 1, оформлена у вигляді файлів MS Word завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Кожне завдання практичної роботи за змістовим модулем оцінюється від 1 до 5 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи. Загальна максимальна сума балів визначається кількістю завдань в роботі.	5
Усього за ЗМ 1	2			10
2	Тест 2	Питання для підготовки: Детерміністичний і стохастичний підхід до моделювання.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно.	5

		Детерміністичний підхід моделювання. Концептуальні моделі. Фізичні моделі. Основи теорії подоби. Основні положення теорії подоби. Математичні моделі. Стохастичний підхід до моделювання. Подоба при імовірнісному характері явищ, що вивчаються. Відповідність між структурами об'єктів.	Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 0,5 бали.	
	Практична робота № 2	Вимоги до виконання та оформлення: Практична робота 2, у вигляді файлів MS Word завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Кожне завдання практичної роботи за змістовим модулем оцінюється від 1 до 5 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи. Загальна максимальна сума балів визначається кількістю завдань в роботі.	5
Усього за ЗМ 2	2			10
3	Тест 3	Математичний опис термодинамічних закономірностей. Перший закон термодинаміки. Робота. Рівняння ідеального газу. Внутрішня енергія. Ізохорний процес. Ізотермічний процес. Ізобарний процес. Математичний опис термохімічних розрахунків. Ентальпія. Теплоємність. Температурна залежність теплоємності. Ентропія. Рівновага хімічних реакцій	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 0,5 бали.	5
	Практична робота № 3	Вимоги до виконання та оформлення: Практична робота 3, у	Кожне завдання практичної роботи за змістовим	

		вигляді файлів MS Word завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	модулем оцінюється від 1 до 5 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи. Загальна максимальна сума балів визначається кількістю завдань в роботі.	5
Усього за ЗМ 3	2			10
4	Тест 4	Питання для підготовки: Рівняння кінетики гомогенних реакцій. Порядок реакції. Гетерогенні реакції. Розчинення вапна в сталеплавильному шлаку. Модель формування хімічного складу шихти.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 0,5 бали.	5
	Практична робота № 4	Вимоги до виконання та оформлення: Практична робота 4 - оформлена у вигляді файлів MS Word завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Кожне завдання практичної роботи за змістовим модулем оцінюється від 1 до 5 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи. Загальна максимальна сума балів визначається кількістю завдань в роботі.	5
Усього за ЗМ 4	2			10
5	Тест 5	Математичний опис металургійних процесів. Рівняння матеріального і енергетичного балансів. Моделювання розгалужених металургійних процесів. Моделювання процесу одержання глинозему.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 0,5 бали.	5
	Практична робота	Практична робота 3 у	Кожне завдання	

	№ 5	вигляді файлів MS Word завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ, Практична робота 5 – оформлена в вигляді MS Word, завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	практичної роботи за змістовим модулем оцінюється від 1 до 5 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи. Загальна максимальна сума балів визначається кількістю завдань в роботі	5
Усього за ЗМ 5	2			10
6	Тест 6	Регресійний аналіз. Ідея регресійного аналізу. Метод найменших квадратів. Шляхи отримання вихідних даних. Перевірка значимості коефіцієнтів регресії. Перевірка адекватності моделі.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 0,5 бали.	5
	Практична робота № 6	Практична робота 3 у вигляді файлів MS Word завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ, Практична робота 6 – оформлена в вигляді MS Word, завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Кожне завдання практичної роботи за змістовим модулем оцінюється від 1 до 5 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи. Загальна максимальна сума балів визначається кількістю завдань в роботі	5
Усього за ЗМ 6	2			10
Усього за змістові модулі	12			60

*(критерії оцінювання за електронним посиланням)

8. Підсумковий семестровий контроль

Форма	Види підсумкових контрольних заходів	Зміст підсумкового контрольного заходу	Критерії оцінювання	Усього балів
1	2	3	4	5
Залік	Тестування	Питання для підготовки: див. питання до ЗМ 1–8 у таблиці 7. Тестування передбачає обмежену у часі (40 хвилин) відповідь на теоретичні питання. У разі дистанційної форми навчання залік проходить у тестовій формі через платформу Moodle.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 20. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	20
Усього за підсумковий семестровий контроль	Практичне завдання	Побудова рівняння регресії	Вчасне правильне вирішення – 20 б. Невчасне правильне вирішення – 6 б.	20

9. Рекомендована література

Основна:

- 1 Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., Усов А. В. Моделювання та оптимізація систем : підручник. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс», 2017. 804 с.
2. Егоров С.Г., Червоний І.Ф. Моделювання процесів чорної і кольорової металургії. Запоріжжя: ЗДІА, 2010. 232 с.
3. Математичне моделювання в електроенергетиці : підручник / за ред. М. С. Сегеди. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. 606 с.
4. Павленко П.М. Основи математичного моделювання систем і процесів: навч. посіб. Київ : Книжкове вид-во НАУ, 2013. 201 с.
5. Роговий А.С. Використання методів числового вирішення задач інженерного аналізу : навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2019. 112 с.
6. Скачков В.О., Карпенко Г.В. Моделювання металургійних процесів: Методичні вказівки до контрольних робіт для студентів ЗДІА денної форми навчання спеціальностей 7.090401 «Металургія чорних металів», 7.090402 «Металургія кольорових металів». Запоріжжя: ЗДІА, 2006. 40 с.
8. Чейлитко А.О. Математичне моделювання та оптимізація теплотехнічних процесів : навчально-методичний посібник. Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2018. 146 с.

Додаткова:

1. Токова О.В., Савченко Є.А. Підхід до розроблення системи інформаційної підтримки рішень у ливарному виробництві. *Індуктивне моделювання складних систем*. Київ: МННЦ ІТС, 2016. Вип. 8. С. 194-202.
2. Tokova O., Savchenko Ye. Inductive Modelling as a Basis of Informational Support of Decisions in Casting Production. Proc. of the XII IEEE International Conference CSIT-2017 &

International Workshop on Inductive Modeling, September 05-08, 2017, Lviv, Ukraine. Lviv: Publisher “Vezha&Co”, 2017. P. 507-510.

Інформаційні ресурси:

1. Наукова бібліотека Запорізького національного університету. URL: <http://library.znu.edu.ua/>
2. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/>
3. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. URL: <http://www.nbuv.gov.ua/>
4. Khoshimov F.A. Analysis of electricity consumption rationing at enterprises ferrous metallurgy [Електронний ресурс] / F.A. Khoshimov, I.U. Rakhmonov. – Technical science and innovation. – vol. 2018, iss. 1. – Режим доступу: <https://uzjournals.edu.uz/btstu/vol2018/iss1/9>