

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Хіміко-технологічний факультет

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан хіміко-технологічного
факультету

_____ І.М. Астрелін
(підпис)

“ ” червня 2018 р.

_____ І.М. Астрелін
(підпис)

“ ” червня 2019 р.

**“ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ КАТАЛІЗАТОРІВ
ТА КАТАЛІТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ”**

**РОБОЧА ПРОГРАМА
кредитного модуля**

рівень вищої освіти другий (магістерський)
спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
(шифр і назва)

освітня програма ОПП/ОНП хімічні технології та інженерія
(ОПП/ОНП, назва)

спеціалізація Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення
(назва)

форма навчання денна

Ухвалено методичною комісією
хіміко-технологічного факультету
Протокол № 6 від 21 червня 2018р.
Голова методичної комісії
_____ О.В. Сангінова
« 21 » червня 2018 р.

Робоча програма кредитного модуля “Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів” складена відповідно до програми навчальної дисципліни “Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів” ПВЗ.

Розробники робочої програми:

Доцент, к.т.н. Концевой Андрій Леонідович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Ст. викладач Обушенко Тетяна Іванівна _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Програму затверджено на засіданні кафедри
технології неорганічних речовин, водоочищення
та загальної хімічної технології
Протокол № 13 від «13» червня 2018 року
В.о. завідувача кафедри ТНР, В та ЗХТ

«13» червня 2018 р. Н.М. Толстопалова

© НТУУ «КПІ», 2018 рік
© НТУУ «КПІ», 2019 рік

1. ОПИС КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ

Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Загальні показники	Характеристика кредитного модуля
Галузь знань 16 Хімічна та біоінженерія (шифр і назва)	Назва дисципліни, до якої належить кредитний модуль Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів	Форма навчання денна (денна / заочна)
Напрямок підготовки	Кількість кредитів ECTS 6,5	Статус кредитного модуля Навчальна дисципліна професійної та практичної підготовки
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія	Кількість розділів 3	Цикл, до якого належить кредитний модуль Цикл професійної підготовки
Спеціалізація Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення	Індивідуальне завдання РР	Рік підготовки 1
		Семестр 1
ОПП та ОНП підготовки магістр	Загальна кількість годин 195	Лекції 36 год.
		Практичні 18 год.
		Лабораторні 36 год.
	Тижневих годин: аудиторних – 5 СРС – 5,8	Самостійна робота 105 год. , у тому числі на виконання індивідуального завдання 15 год.
		Вид та форма семестрового контролю Екзамен

Кредитний модуль "Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів" належить до циклу професійної підготовки, а саме до навчальних дисциплін професійної та практичної підготовки і являється профілюючою дисципліною циклу професійної підготовки в навчальному плані підготовки за ОПП магістрів спеціалізації Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення.

Кредитний модуль "Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів" займає важливе місце у формуванні світогляду сучасного фахівця спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія. Навчальний матеріал дисципліни "Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів" базується на знаннях, отриманих при навчанні за освітньо-

професійною програмою підготовки бакалаврів, зокрема, дисциплін «Загальна та неорганічна хімія», «Процеси і апарати хімічних виробництв», «Загальна хімічна технологія», «Фізична хімія»; «Теоретичні основи технології неорганічних речовин» «Хімічна технологія неорганічних речовин», «Технологія зв'язаного азоту». Програму кредитного модуля "Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів" складено відповідно до навчальної програми дисципліни "Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів".

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ

2.1. Мета кредитного модуля.

Після засвоєння дисципліни «Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів» студент має продемонструвати здатність використовувати базові знання фундаментальних розділів математики, в обсязі, необхідному для володіння математичним апаратом відповідної галузі знань, здатність використовувати математичні методи в обраній професії; здатність до використання комп'ютерної техніки та програм у професійній діяльності, до проектування технологічних процесів з проведенням необхідних розрахунків та обґрунтуванням головних технологічних параметрів з використанням вимог державних стандартів та нормативних документів, здатність використовувати знання, уміння і навички, засоби системного дослідження для удосконалення та розробки технологічних систем галузі.

2.2. Основні завдання кредитного модуля.

Студенти після засвоєння навчальної дисципліни «Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів» мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

- основні механізми хімічної кінетики стосовно гетерогенно-каталітичних процесів;
 - основні закони дифузійної кінетики;
 - методи дослідження властивостей каталізаторів;
 - основні закономірності підбору каталізаторів;
- технології приготування каталізаторів різними методами;

вміння:

- складати кінетичні рівняння каталітичних процесів згідно з їх механізмами;
- робити розрахунки дифузійних стадій каталітичних процесів;
- вимірювати каталітичну активність й питому поверхню каталізаторів;
- проводити основні операції при приготуванні каталізаторів методами осаджування, змішування та просочення (імпрегнування);
- складати матеріальні і теплові баланси каталітичних процесів.

набути досвід: асоціативного використання фахових знань і умінь для виконання лабораторних досліджень і проектних розробок з хімічної технології каталізаторів та каталітичних процесів.

3. СТРУКТУРА КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи	СРС
1	2	3	4	5	6
РОЗДІЛ 1. Технологія каталізаторів					
Тема 1. Основні положення. Технологія осаджених каталізаторів	15	3		10	2
Тема 2. Технологія приготування каталізаторів на носіях	14	2		10	2
Тема 3. Технологія приготування каталізаторів механічним змішуванням	4	2			2
Тема 4. Технологія приготування сітчастих металевих каталізаторів	4	2			2
Тема 5. Технологія приготування плавленого каталізатору	4	2			2
Тема 6. Каталізатори на основі глини та цеолітів	4	2			2
Контрольна робота з розділу 1	5	1			4
Разом за розділом 1	50	14		20	16
РОЗДІЛ 2. Методи дослідження каталізаторів					
Тема 1. Методи визначення активності	16	2		8	6
Тема 2. Дослідження структури каталізаторів. Визначення механічної міцності каталізаторів	18	2		8	8
Разом за розділом 2	34	4		16	14
РОЗДІЛ 3. Кінетика і макрокінетика гетерогенних каталітичних процесів					
Тема 1. Статика, кінетика і механізми адсорбційних процесів	19	5	6		8
Тема 2. Кінетика і механізми каталітичних процесів	18	6	4		8
Тема 3. Дифузійна кінетика каталітичних процесів	16	4	4		8
Тема 4. Кінетика гомогенного каталізу та топохімічних реакцій	8	2	4		2
Контрольна робота з розділу 3	5	1			4
Разом за розділом 3	66	18			30
Розрахункова робота	15				15
Екзамен	30				30
Всього	195	36	18	36	105

4. ЛЕКЦІЙНІ ЗАНЯТТЯ

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<p style="text-align: center;">РОЗДІЛ 1. Технологія каталізаторів</p> <p><i>Тема 1 Основні положення. Технологія осаджених каталізаторів.</i> Лекція 1. Введення в каталіз. Історія розвитку каталізу. Класифікація каталізаторів за методами приготування. Сировина. Етапи виробництва контактних мас. Способи формовки. Класифікація методів приготування каталізаторів. Література 1, 5, 3д. <i>Завдання на СРС:</i> Основні терміни та визначення. Поняття активності каталізаторів. Прийоми розрахунків активності і селективності каталізаторів. Література: 1.</p>
2	<p>Лекція 2. Технологія осаджених каталізаторів. Типи каталізаторів. Загальна технологічна схема приготування осаджених каталізаторів. Основи осадження. Основи фільтрування. Промивка, сушка, формування каталізатору. Технологія приготування каталізатора конверсії СО марки СТК-1. Технологічна схема. Література: 1, 5, 3 д. <i>Завдання на СРС:</i> Технологічні схеми каталізаторів НТК-4, СТК-СФ. Література 1, 3д.</p>
3	<p><i>Тема 2 Технологія приготування каталізаторів на носіях.</i> Лекція 3. Типи каталізаторів. Типи носіїв. Загальна технологічна схема приготування каталізаторів на носіях. Основи просочення, занурення, сприскування. Характеристики та способи приготування носіїв: пемзи, азбесту, кізельгуру, металокераміки, активованого вугілля, силікагелю, оксидів алюмінію, корунду. Принципова схема приготування силікагелю. Технологія приготування каталізатору конверсії метану ГІАП-3. Технологічна схема виробництва. Література: 1, 5, 2д, 3д. <i>Завдання на СРС:</i> Технологічні схеми каталізаторів ГІАП-3-6-н, ГІАП-8с, АВК-10, К-905, АПК-2. Література 1, 2д, 3д.</p>
4	<p><i>Тема 3 Технологія приготування каталізаторів методом механічного змішування</i> Лекція 4. Типи каталізаторів. Загальна технологічна схема приготування каталізаторів методом механічного змішування. Основи змішування, формування. Технологія приготування каталізатору синтезу метанолу. Технологічна схема виробництва. Література: 1, 5. <i>Завдання на СРС:</i> Технологічні схеми каталізаторів СВД, ГІАП-16, СМС-4, СНМ-У. Література 1.</p>
5	<p><i>Тема 4 Технологія приготування сітчастих металевих каталізаторів</i> Лекція 5. Типи каталізаторів. Загальна технологічна схема приготування сітчастих металевих каталізаторів. Технологія приготування платиного сітчастого каталізатору окислення аміаку. Технологія приготування каталізатору засобом магнетронного напылення. Література: I, 3д. <i>Завдання на СРС:</i> Технологічні схеми виробництва каталізатору Pt-Rh-Pd. Література 1.</p>
6	<p><i>Тема 5 Технологія приготування плавненого каталізатору</i> Лекція 6. Типи каталізаторів, загальна технологічна схема приготування плавненого каталізатору. Технологія приготування каталізатору синтезу аміаку. Технологічна схема. Скелетні каталізатори. Загальна технологічна схема їх</p>

	<p>приготування. Література: I, 5, 3д. Завдання на СРС: Технологічні схеми каталізаторів СА-1, СА-С, СА-1В. Література 1.</p>
7	<p><i>Тема 6 Каталізатори на основі глини та цеолітів</i> Лекція 7. Типи каталізаторів. Загальна технологічна схема приготування природних каталізаторів та їх модифікація. Загальна технологічна схема приготування цеолітних каталізаторів. Література: 1, 5 Завдання на СРС: Технологічні схеми каталізаторів з бентонітових глини, цеолітні, гранульовані. Література: 1.</p>
7	<p><i>Контрольна робота з розділу 1.</i></p>
8	<p>РОЗДІЛ 2. Методи дослідження каталізаторів <i>Тема 1. Методи визначення активності каталізаторів</i> Лекція 8. Поняття активності каталізаторів. Методи визначення активності. Статичний метод. Проточні методи. Проточно-циркуляційний метод. Схема проточно-циркуляційної системи з електромагнітним плунжерним насосом. Схема проточно-циркуляційної установки для окислення SO₂. Література: 1, 1д. Завдання на СРС: Імпульсні методи дослідження активності каталізаторів. Література 1, 1д.</p>
9	<p>Лекція 9. Методи визначення макроструктури каталізаторів. Адсорбція як засіб визначення поверхні каталізатору. Аналіз рівняння BET, Питома поверхня каталізаторів. Об'ємний метод визначення поверхні. Схема установки для визначення поверхні об'ємним методом. Хроматографічний метод визначення поверхні. Схема установки. Адсорбційний метод визначення радіуса пор. Ртутна порометрія. Поромери низького та високого тиску. Визначення істинної та уявної густини каталізаторів. Література: 1, 5, 1д. Завдання на СРС: Методи механічних випробувань каталізаторів. Статичні та динамічні випробування. Метод стирання. Випробування каталізаторів фільтруючого шару. Дослідження каталізаторів в умовах реакції. Література: 1, 2д.</p>
10	<p>РОЗДІЛ 3. Кінетика і макрокінетика гетерогенних каталітичних процесів <i>Тема 1 Статика, кінетика і механізми адсорбційних процесів</i> Класифікація каталітичних процесів. Стадії гетерогенного каталізу. Основні поняття каталізу. Питома каталітична активність. Роль хімічного складу каталізатору і реакційного середовища. Дезактивація каталізаторів. Адсорбція і кінетика на ідеальній однорідній поверхні. Фізична адсорбція і хемосорбція. Ізотерми і ізобари адсорбції. Рівняння Ленгмюра і BET. Капілярна конденсація. Рівняння Кельвіна. Механізм хімічної адсорбції. Статика, кінетика і динаміка адсорбції. Література: 1, 2, 4. Завдання на СРС: Типи ізотерм адсорбції з залежності від моделі поруваної структури. Література: 2, 1д, 2д.</p>
11	<p>Адсорбція газових сумішей. Теплота адсорбції: інтегральна, диференціальна, ізостерна. Методи визначення теплоти адсорбції. Взаємодія реакційного середовища з каталізатором. Активована адсорбція. Література: 4, 2д. Завдання на СРС: Використання рівняння Кельвіна для побудови залежності об'єму пор від розміру пори. Література: 2, 1д, 2д.</p>
12	<p><i>Тема 2 Кінетика і механізми каталітичних процесів</i></p>

	<p>Кінетика гетерогенних каталітичних реакцій на однорідній поверхні. Закон діючих поверхонь. Кінетика Ленгмюра-Хіншельвуда. Спостережна енергія активації і порядок реакції.</p> <p>Література: 4, 2д.</p> <p><i>Завдання на СРС:</i> Передбачення каталітичної дії: теорії гетерогенного каталізу Баландіна та Борескова. Література: 2, 1д, 2д.</p>
13	<p>Вплив механізму реакції на вид кінетичного рівняння: адсорбція продуктів реакції, ударний механізм Ріділа, дисоціативна адсорбція вихідного газу.</p> <p>Література: 4, 2д.</p> <p><i>Завдання на СРС:</i> Передбачення каталітичної дії: теорії гетерогенного каталізу Рогинського та Волькенштейна. Література: 2, 1д, 2д.</p>
14	<p>Рівняння складної каталітичної реакції: оборотної, паралельної, послідовної. Кінетика реакцій на каталізаторах з активністю, що змінюється: самоотруєння, отруєння, блокування, старіння.</p> <p>Література: 1, 2, 1д.</p> <p><i>Завдання на СРС:</i> Рівняння кінетики складної каталітичної реакції другого порядку: оборотної, паралельної, послідовної. Література: 2, 1д.</p>
15	<p><i>Тема 3. Дифузійна кінетика каталітичних процесів</i></p> <p>Порувата структура і поверхня каталізаторів. Вплив процесів переносу речовини і теплоти на хід гетерогенної каталітичної реакції. Области проходження процесу: зовнішньодифузійна і внутрішньодифузійна. Кінетика процесу в зовнішньодифузійній області. Вплив основних технологічних параметрів на проходження процесу. Розрахунок коефіцієнту масовіддачі за критеріальними рівняннями.</p> <p>Література: 4, 2д</p> <p><i>Завдання на СРС:</i> огляд критеріальних рівнянь тепло- і масопереносу, принцип подібності. Література: 4, 2д.</p>
16	<p>Кінетика процесу в внутрішньодифузійній області. Перший закон Фіка. Дифузія молекулярна і за механізмом Кнудсена. Квазігомогенна модель гранули каталізатору. Ефективний коефіцієнт дифузії.</p> <p>Література: 4, 2д.</p> <p><i>Завдання на СРС:</i> визначення області протікання процесу: вплив температури, лінійної швидкості, розміру гранули каталізатору. Література: 4.</p>
17	<p>Розрахунок градієнту концентрації в гранулі каталізатора за другим законом Фіка. Аналіз рівняння швидкості процесу: значення енергії активації і порядку реакції. Ступінь використання внутрішньої поверхні. Параметр Тіле. Оптимальний розмір гранули каталізатора.</p> <p>Література: 1, 2, 1д.</p> <p><i>Завдання на СРС:</i> Стаціонарний та нестаціонарний каталіз. Література: 4.</p>
18	<p><i>Тема 4 Кінетика гомогенного каталізу та топохімічних реакцій</i></p> <p>Механізми гомогенних каталітичних реакцій. Рівняння швидкості. Контрольна робота з розділу 3.</p> <p>Література: 3</p> <p><i>Завдання на СРС:</i> Кінетика топохімічних реакцій. Утворення зародків нової фази і їх зріст. Література: 3</p>

5. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Основною метою практичних занять дисципліни є навчання студентів використовувати теоретичні знання, набуті на лекціях і при самостійній роботі, для вирішення конкретних практичних завдань з фахового напрямку, набуття студентами вмінь і навичок проведення технологічних і проектно-конструкторських розрахунків з фаху. При цьому одночасно ставиться за мету поглиблення теоретичних знань при усвідомленні студентами методики застосування цих знань для розрахункового обґрунтування реальних рішень з фахової діяльності.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Розрахунки адсорбційних процесів. Статика і динаміка адсорбції <i>Література: 4-5</i>
2	Розрахунок каталітичних процесів, що протікають в кінетичній області. Визначення кінетичних параметрів за заданим механізмом. <i>Література: 4-5</i>
3	Розрахунок густини, в'язкості, теплопровідності, коефіцієнта дифузії індивідуальних газів та їх суміші <i>Література: 4-5</i>
4	Розрахунок каталітичних процесів, що протікають в зовнішньо дифузійній області <i>Література: 4-5</i>
5	Розрахунок каталітичних процесів, що протікають у внутрішньо дифузійній області. Визначення ступеня використання поверхні каталізатора <i>Література: 4-5</i>
6	Розрахунок теплообміну в каталітичних реакторах <i>Література: 4-5</i>
7	Розрахунки адсорбційних процесів. Статика і динаміка адсорбції <i>Література: 4-5</i>
8	Розрахунок каталітичних процесів, що протікають в кінетичній області. Визначення кінетичних параметрів за заданим механізмом. <i>Література: 4-5</i>
9	Розрахунок густини, в'язкості, теплопровідності, коефіцієнта дифузії індивідуальних газів та їх суміші <i>Література: 4-5</i>

6. ЛАБОРАТОРНІ ЗАНЯТТЯ

Основні завдання циклу лабораторних занять націлені на те, щоб виконати хімічний аналіз сировини, продуктів хімічного перетворення при одержанні каталізаторів і здійснити лабораторні дослідження каталітичних процесів та оцінити одержані результати.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Вступне заняття. Техніка безпеки. Особливості проведення лабораторних робіт з хімічної технології неорганічних речовин. Правила оформлення протоколів. <i>Література: 5</i>	2

	<i>Завдання на СРС: оформлення протоколів виконаної роботи і підготовка до наступного заняття</i>	
2	Одержання каталізаторів глибокого окиснення вуглеводів (метану) методом співосадження активних компонентів <i>Завдання на СРС: оформлення протоколів виконаної роботи і підготовка до наступного заняття</i>	4
3	Приготування каталізатора методом просочування та його дослідження <i>Література: 5</i> <i>Завдання на СРС: оформлення протоколів виконаної роботи і підготовка до наступного заняття</i>	4
4	Одержання каталізаторів методом електрохімічного осадження активних компонентів на сітчастому носії <i>Література: 5</i> <i>Завдання на СРС: оформлення протоколів виконаної роботи і підготовка до наступного заняття</i>	3
5	Одержання активного оксиду алюмінію осадженням з розчину <i>Література: 5</i> <i>Завдання на СРС: оформлення протоколів виконаної роботи і підготовка до наступного заняття</i>	6
6	Визначення питомої поверхні каталізатора. <i>Література: 5</i> <i>Завдання на СРС: оформлення протоколів виконаної роботи і підготовка до наступного заняття</i>	6
7	Каталітичне окиснення оксиду вуглецю <i>Література: 5</i> <i>Завдання на СРС: оформлення протоколів виконаної роботи і підготовка до наступного заняття</i>	6
8	Визначення загальної поруватості каталізатора <i>Література: 5</i> <i>Завдання на СРС: оформлення протоколів виконаної роботи і підготовка до наступного заняття</i>	3
9	Підсумкове заняття	2

7. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Основний перелік видів самостійної роботи студентів надано в розділах 4, 5 і 6 робочої навчальної програми	60
2	Виконання розрахункової роботи	15
3	Підготовка до екзамену	30
	Всього	105

8. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Для більш ґрунтового опанування програмного матеріалу кредитного модуля "Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів" кожен студент, окрім СРС, одержує індивідуальне завдання на розрахункову роботу за темою: Розрахунки виробництва залізо-хромового каталізатора парової конверсії оксиду (II) карбону. Ціллю індивідуального завдання є стимулювання студентів до самостійного осмислення теоретичного і фактичного матеріалу, самостійного виконання матеріальних і теплових розрахунків, вдосконалення вміння пошуку та аналізу інформації з програмного матеріалу (в т. ч. з використанням мережі Internet) і творчого, продуктивного, обґрунтованого рішення індивідуального завдання, що максимально наближена до реальних виробничих проблем.

9. КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

Метою контрольних робіт є ревізія і закріплення теоретичних знань, що набуті на лекціях, і закріплені на практичних заняттях та при самостійній роботі. За робочим навчальним планом передбачено проведення однієї МКР (до 2 годин). Тематика і час проведення контрольних робіт визначено в розділі 4 даної програми. Методика проведення контрольних робіт – письмова відповідь по варіантах на ряд питань за відповідними темами.

10. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Положення про рейтингову систему оцінювання знань студентів з кредитного модуля наведене у Додатку Б.

11. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Комплексне і системне вивчення кредитного модуля досягається взаємозв'язком лекцій, практичних занять та лабораторних робіт. Підвищенню рівня засвоєння матеріалу сприятиме також виконання курсового проекту.

При викладанні кредитного модуля слід акцентувати увагу студентів на взаємозв'язок фізико-хімічних основ процесів з конструкцією реакторів і послідовністю їх розташування в технологічному ланцюгу. При цьому треба робити акцент на виборі конструкційних матеріалів для обладнання і устаткування технологічних схем виробництв каталізаторів і процесів, в яких каталізатор використовується з точки зору ефективного, безпечного і раціонального проведення технологічного процесу.

В основу програми кредитного модуля покладено авторські підходи, рішення, комп'ютерне і лабораторне забезпечення, що напрацьовані на кафедрі ТНР та ЗХТ впродовж ряду років з урахуванням великої кількості підручників і посібників, що видано за останні роки. Лекційний матеріал є квінтесенцією досить широкої інформації про процес з термодинамічної, кінетичної і технологічної точок зору і викладається виключно в проблемному плані з акцентом на зв'язок теоретичних засад процесу з особливостями його реалізації на практиці. Рекомендується знайомити студентів з авторефератами кандидатських дисертацій з гетерогенного каталізу з наступним обговоренням. Виконання лабораторних робіт має передбачити одночасне напрацювання даних з двох робіт з метою раціонального використання часу (для довготривалих операцій). Комп'ютерний практикум з розділу 3 має передбачити індивідуальну роботу на персональних комп'ютерах в середовищах Excel і MathCAD.

12. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

12.1. Базова

1. Технология катализаторов /Под ред. И.П. Мухленова. - Л.: Химия, 1989. – 272 с.
2. Иоффе И.И. Гетерогенный катализ. / И.И. Иоффе, В.А. Решетов, А.М. Добротворский - Л.: Химия, 1985. – 224 с.
3. Дзисько В.А. Основы методов приготовления катализаторов. - Новосибирск: Наука, 1983.- 200 с.
4. Курс лекцій. Комп'ютерний практикум. Методичні рекомендації до виконання курсового проекту з дисципліни «Хімічна технологія катализаторів та каталітичних процесів» для студентів спеціальності 8.05130101 «Хімічні технології неорганічних речовин» хіміко-технологічного факультету. /Укладачі: доц. А.Л. Концевой, ас. Банюк К.М. – НТУУ “КПІ”, 2011.– 230 с.
5. Методичні вказівки до лабораторних робіт по курсу «Каталіз та технологія катализаторів»./Укл. Ю.В. Князєв, А.Л. Концевой, О.Б. Костоглод – НТУУ «КПІ», 2000.-52 с.
6. Конспект лекцій з дисципліни «Хімічна технологія катализаторів та каталітичних процесів. Розділ 1. Технології катализаторів » для студентів спеціальності 8.05130101 «Хімічні технології неорганічних речовин» хіміко-технологічного факультету. / Укладачі: ст. викл. Т.І. Обушенко, ас. К.М. Банюк – НТУУ “КПІ”, 2011.– 159 с.

12.2. Допоміжна

- 1д. Киперман С.Л. Введение в кинетику гетерогенных каталитических реакций. - М.: Наука, 1964. - 608с.
- 2д. Иоффе И.И. Инженерная химия гетерогенного катализа. / И.И. Иоффе, Л.М. Письмен - Л.: Химия, 1972. – 462 с.
- 3д. Сеттерфилд Ч. Практический курс гетерогенного катализа. - М.: Мир, 1984. – 520 с.
- 4д. Чонкендорф, И. Современный катализ и химическая кинетика / И. Чонкендорф, Х. Наймантсведрайт ; пер. с англ. В. И. Ролдугина. - Долгопрудный : Интеллект, 2010. - 504с.
- 5д. Крылов О.В. Гетерогенный катализ: Учебное пособие для вузов/ О.В. Крылов – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004.–679с.

13. Інформаційні ресурси

Практично вся вищевказана література розміщена у формі файлів на сервері кафедри ТНР та ЗХТ на диску srv\transit\kontsevoy або srv\public

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗНАТЬ

Розділ 1

1. Загальна схема виробництва каталізаторів на носіях
2. Технологічна схема виробництва каталізатору СА-1
3. Загальна схема виробництва осаджених каталізаторів
4. Технологічна схема виробництва каталізатору ГИАП-16
5. Технологія співосадження у виробництві каталізаторів
6. Загальна схема виробництва каталізаторів на основі глини
7. Технологічна схема виробництва каталізатору СТК
8. Технологія промивки осаджених каталізаторів
9. Технологічна схема виробництва каталізатору АПК-2
10. Технологія сушки та прожарювання каталізаторів
11. Загальна схема виробництва каталізатора Бага
12. Технологія формовки каталізаторів
13. Технологічна схема виробництва мідьцінкхромового каталізатору синтезу метанолу
14. Технологічна схема виробництва каталізатору НТК-4
15. Технологія фільтрації (декантації)
16. Загальна схема виробництва каталізатору Нікель Ренея
17. Технологія змішаних каталізаторів
18. Загальна схема виробництва каталізатору ГИАП-3
19. Технологія плавлених каталізаторів
20. Технологія просочування у виробництві каталізаторів на носіях
21. Технологічна схема виробництва срібного каталізатору на пемзі
22. Характеристика носіїв: активоване вугілля, силікагель, оксиди алюмінію
23. Характеристика носіїв: пемза, азбест, діатоміт, металокераміка

Розділ 3

1 Явище каталізу. Класифікація каталітичних процесів. Основні поняття гетерогенного каталізу: активність, вибірковість, дезактивація (блокування, отруєння і старіння), регенерація каталізаторів. Механічна і термічна міцність каталізаторів. Температура запалювання каталізатора.

2 Дезактивація оборотна і необоротна. Можливі методи регенерації каталізаторів.

3 Стадії і області протікання гетерогенного каталітичного процесу. Роль адсорбції в каталізі. Адсорбент, адсорбат і адсорбтив.

4 Адсорбція фізична і хімічна (хемосорбція), їх ізотерми і ізобари. Рівняння Ленгмюра, БЕТ і їх аналіз. Капілярна конденсація, рівняння Кельвіна. Статика, кінетика і динаміка адсорбції.

5 Активована адсорбція. Тепло адсорбції: інтегральна, диференціальна і ізостерна. Методи визначення і інтерпретація значень теплоти адсорбції. Зміна ізостерної теплоти адсорбції і енергії активації хемосорбції у міру відпрацювання поверхні адсорбенту.

6 Теорії каталізу і їх використання для підбору каталізатора і при розробці технології приготування і активації каталізаторів.

7 Закон діючих поверхонь. Кінетика Ленгмюра-Хіншельвуда: адсорбція тільки вихідних реагентів, адсорбція вихідних реагентів і продуктів реакції, ударний механізм Ріділа, дісоціативна адсорбція вихідних реагентів.

8 Дійсна і уявна енергії активації в гетерогенному каталізі.

9 Рівняння швидкості складних каталітичних реакцій: оборотної, паралельної і

послідовної.

10 Вплив середовища на швидкість каталітичних процесів: явище самоотруєння, блокування, отруєння, старіння і їх вплив на вигляд кінетичного рівняння.

11 Рівняння швидкості гетерогенно-каталітичного процесу в зовнішньо-дифузійній області. Розрахунок коефіцієнта масовіддачі. Шляхи підвищення швидкості процесу. Вплив особливостей цієї області протікання процесу на методи приготування каталізаторів.

12 Рівняння швидкості процесу у внутрішньо-дифузійній області згідно першого закону Фіка. Дифузія молекулярна і кнудсенівська. Квазігомогенна модель дифузії. Ефективний коефіцієнт дифузії.

13 Розрахунок градієнта концентрації в гранулі каталізатора другого закону Фіка. Аналіз кінетичного рівняння у внутрішньо-дифузійній області (енергія активації і порядок реакції). Шляхи підвищення швидкості процесу. Вплив особливостей цієї області протікання процесу на методи приготування каталізаторів.

14 Ступінь використання внутрішньої поверхні каталізатора. Параметр Тіле. Залежність ступеня використання поверхні від температури.

15 Оптимальний розмір гранули каталізатора.

16 Визначення області протікання гетерогенно-каталітичного процесу по залежності його швидкості (константи швидкості) від температури, лінійної швидкості, розміру гранули каталізатора. Рівняння швидкості процесу у стаціонарних умовах.

17 Нестаціонарний каталіз. Реалізація на прикладі окиснення оксида сульфуру (IV).

18 Кінетика (рівняння швидкості) гетерогенно-каталітичного процесу в стаціонарних умовах

19 Кінетика (рівняння швидкості) гомогенного каталітичного процесу.

20 Оптимальні (раціональні) температура, тиск, концентрація в гетерогенному каталітичному процесі для оборотних і необоротних процесів.

ПОЛОЖЕННЯ
про рейтингову систему оцінки успішності студентів

з кредитного модуля: “ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ КАТАЛІЗАТОРІВ ТА КАТАЛІТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ”

рівень вищої освіти другий (магістерський)
спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
(шифр і назва)

освітня програма ОПП/ОНП хімічні технології та інженерія
(ОПП/ОНП, назва)

спеціалізація Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення
(назва)

форма навчання денна

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з кредитного модуля згідно з робочим навчальним планом:

СЕМЕСТР	Всього годин	Розподіл годин за видами занять						СРС	Кількість МКР	Вид інд. завд.	Семестрова атестація
		Лекції	Практичні заняття	Семінари	Лабораторні роботи	Комп'ютерний практикум	Всього				
1	195	36	18	–	36	–	105	15	1	РР	Екзамен

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- 1) роботу на практичних заняттях;
- 2) виконання та захист 7 тематичних лабораторних робіт;
- 3) виконання та захист розрахункової роботи;
- 4) модульну контрольну роботу;
- 5) письмову відповідь на іспиті.

Система рейтингових балів

1 Робота на практичних заняттях:

Ваговий бал на за присутність на занятті становить 1 бал. Кількість практичних занять – 9. Максимальна кількість балів на усіх практичних заняттях дорівнює: 9 балів.

Критерії оцінювання:

1 бал: безпомилкове виконання та оформлення завдання *під час поточного заняття*;

0,75 бала: вірне в цілому виконання з незначними недоліками в оформленні, або помилковим виконанням окремих елементів роботи, здача роботи під час наступного заняття;

0,5 бала: вірне виконання роботи після навідної допомоги викладача або проведення роботи зі значущими помилками, які підлягають виправленню; здача роботи під час наступного заняття;

0,25 бала: неповне виконання завдання викладача або проведення роботи з грубими помилками, що підлягають не виправленню, а переробки завдання;

0 балів: відсутність на занятті.

2 Робота під час лабораторних занять:

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів за 7 лабораторних робіт дорівнює: 2 бали × 7 = 14 балів.

Лабораторна робота оцінюється в три етапи:

- допуск до лабораторної роботи;
- виконання лабораторної роботи;
- захист лабораторної роботи.

Критерії оцінювання

Допуск до лабораторної роботи – 0,5 балів

0,50 бала: при перевірці готовності до ЛР надаються вірні і вичерпні відповіді на усі запитання викладача, підготовлено в повному обсязі схему протоколу лабораторної роботи;

0,25 бала: при перевірці готовності студент має утруднення при формулюванні вірних відповідей на запитання викладача; є зауваження щодо підготовки протоколу.

Виконання лабораторної роботи – 0,5 бала

0,5 бала: безпомилкове виконання завдання ЛР в повному обсязі з наявністю елементів самостійного творчого підходу при безумовному додержанні правил і норм техніки безпеки;

0,4 бала: безпомилкове виконання завдання ЛР в повному обсязі при додержанні правил і норм техніки безпеки;

0,3 бала: виконання завдань ЛР в повному обсязі при наявності зауважень з боку викладача щодо необґрунтованого відхилення від методичних вказівок або щодо додержання вимог техніки безпеки;

0,2 бала: невиконання завдань ЛР в повному обсязі за відведений час при наявності зауважень з боку викладача щодо вірності виконання роботи або додержання вимог техніки безпеки.

Якість захисту лабораторної роботи – 1 бал

1 бал: наявність впевнених знань і набутих вмінь з завдань виконаної ЛР; бездоганне оформлення протоколу та інших матеріалів;

0,75 бал: наявність впевнених знань і вмінь з завдань виконаної ЛР; зауваження щодо повноти, акуратності, грамотності оформлення матеріалів з підсумків виконання ЛР;

0,5 бала: не зовсім повне оволодіння знаннями і вміннями за підсумками виконання ЛР; наявність суттєвих зауважень щодо повноти, грамотності, акуратності і охайності при оформленні матеріалів з виконаної ЛР.

3. Розрахункова робота

Ваговий бал – 7.

Критерії оцінювання:

- «відмінно»: безпомилкове виконання та оформлення всіх завдань – 7-5 бали;
- «добре»: вірно в цілому рішення з незначними недоліками в оформленні, або похибками окремих елементів розрахунку – 4-3 бали;
- «задовільно»: виконання вірних розрахунків після навідної допомоги викладача або проведення розрахунків зі значущими помилками, які підлягають виправленню – 2-1 бали;
- «незадовільно»: неповне виконання завдань або проведення розрахунку з грубими помилками – 0 балів.

4 Модульна контрольна робота (МКР)

Ваговий бал дорівнює 5. Максимальна кількість балів за 2 модульні контрольні роботи тривалістю 1 година становить 10.

Нарахування балів за 1 МКР здійснюється за наступними критеріями.

Критерії оцінювання МКР:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 5 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 4 бали;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 3 бали;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на 3 бали) або відсутність на занятті без поважних причин, списування (плагіат) під час контрольної, відмова від виконання контрольної роботи – 0 балів.

Штрафні бали (r_s) за :

- використання розрахункових або дослідних матеріалів інших студентів і подання їх за свої.....-5 балів;
- відсутність на лабораторному, комп'ютерному або практичному занятті без поважних причин.....-2 бала;
- запізнення (до 15 хв.) на заняття без поважних причин.....-0,5 бали;
- запізнення (до 25 хв.) на заняття без поважних причин.....-1 бал.

Штрафні бали вносяться до рейтингу до урахування коефіцієнту перерахунку

Сума штрафних балів (r_s) не повинна перевищувати, як правило $0,1R_c$ (себто 4 бали).

Максимальна сума балів стартової складової дорівнює 40 балів

$$R_c = 9 + 14 + 7 + 10 = 40$$

Необхідною умовою допуску до екзамену є зарахування модульної та розрахункової контрольних робіт, всіх лабораторних занять, індивідуальних завдань на практичних заняттях і стартовий рейтинг не менше 20 балів.

Екзаменаційна складова (R_E) шкали дорівнює 60 % від RD , а саме 60 балів.

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає:

$$RD = R_c + R_E = 100 \text{ балів}$$

Критерії екзаменаційного оцінювання:

Екзаменаційний білет містить 6 запитань, письмова відповідь на кожне з яких оцінюється за наступною системою:

- «відмінно» 10-8 балів: повна і безпомилкова відповідь при наявності елементів продуктивного творчого підходу; демонстрація вміння впевненого застосування фундаментальних і фахових знань, бездоганне обґрунтування цієї відповіді з залученням літературних джерел;
- «добре» 7-5 балів: достатньо повна і взагалі вірна відповідь з 80% розкриттям питання, відповідь ґрунтується тільки на матеріалах конспекту;
- «задовільно» 4-1 балів: взагалі вірна але недостатньо повна відповідь на запитання зі значними помилками та зауваженнями принципового характеру, з 50% розкриттям питання з двома – трьома досить суттєвими помилками;
- «незадовільно» 0 балів: відсутність на іспиті без поважних причин або відмова від участі в іспиті.

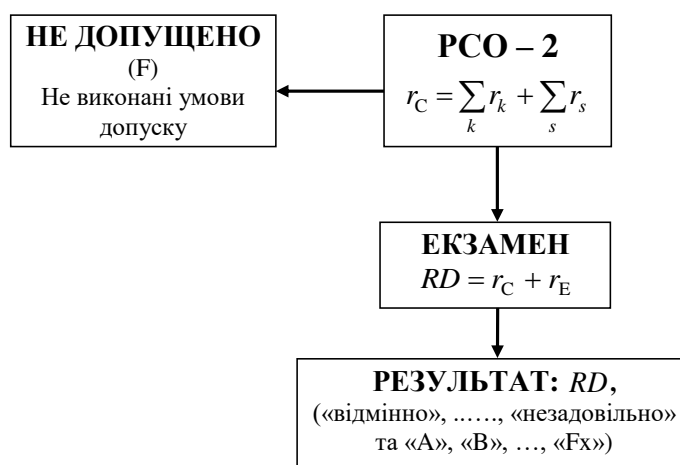


Схема функціонування рейтингової системи оцінювання (PCO) з дисципліни

Переведення значення рейтингових оцінок з кредитного модуля в ECTS та традиційні оцінки для виставлення їх до екзаменаційно-залікової відомості та залікової книжки здійснюється відповідно до таблиці:

Значення рейтингу з кредитного модуля RD	Оцінка ECTS та визначення	Традиційна екзаменаційна (диф. залік) оцінка
$95R \leq RD$	A – Відмінно	Відмінно
$85R \leq RD < 95R$	B – Дуже добре	Добре
$75R \leq RD < 0,85R$	C – Добре	
$65R \leq RD < 75R$	D – Задовільно	Задовільно
$60R \leq RD < 65R$	E – Достатньо (задовольняє мінімальні критерії)	
$RD < 60R$	Fx – Незадовільно	Незадовільно
Невиконання умов допуску до семестрової атестації	F – Незадовільно (потрібна додаткова робота)	Не допущено

Склали:

доц. Концевой А.Л. _____

ст. викл. Обушенко Т.І. _____

Ухвалено на засіданні кафедри
технології неорганічних речовин, водоочищення
та загальної хімічної технології
Протокол № 13 від «13» червня 2018 року

В.о. завідувача кафедри _____ Толстопалова Н.М.