

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СОРБЦІЇ ТА ПРОБЛЕМ ЕНДОЕКОЛОГІЇ**

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою

Інституту сорбції та проблем
ендоекології НАН України
протокол № 1

від « 21 » січня 2022 року

Голова Вченої ради

Інституту сорбції та проблем

ендоекології НАН України

чл.-кор. НАН України



В.В. Брей

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Гетерогенний каталіз

(назва навчальної дисципліни)

галузі знань **10 «Природничі науки»**

спеціальності **102 «Хімія»**

спеціалізації **«Фізична хімія»**

Київ - 2022 рік

Робоча програма «Гетерогенний каталіз»

(назва навчальної дисципліни)

для аспірантів спеціальності **102 «Хімія»**, спеціалізація – **фізична хімія**

«21» січня 2022 року, 19с.

Курс розроблено на підставі освітньо-наукової програми, затвердженої на Вченій раді Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України від «21» «січня» 2022 р., протокол № 5.

Розробники:

чл.-кор. НАН України, д.х.н., проф. Зажигалов Валерій Олексійович,

чл.-кор. НАН України, д.х.н., проф. Брей Володимир Вікторович

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	
Кількість кредитів - 3	Галузь знань <u>10 «Природничі науки»</u> (шифр і назва) Спеціальність <u>102 «Хімія»</u> (шифр і назва) Спеціалізація <u>«Фізична хімія»</u>	Нормативна	
Модулів - 4		Рік підготовки:	
Змістових модулів - 4		2-й	
		Семестр	
Загальна кількість годин - 90		4-й	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних - 30, у т.ч. самостійної роботи аспіранта – 60 год.	Освітньо-кваліфікаційних рівень: доктор філософії	Лекції	
		22 год.	
		Практичні, семінарські	
		8 год.	
		Самостійна робота	
		60 год.	
		Вид контролю: іспит	

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення дисципліни «Гетерогенний каталіз» є оволодіння знаннями про основні фізико-хімічні закономірності гетерогенного каталізу, формування уявлень про фізико-хімічні характеристики гетерогенних каталізаторів екологічного та продуктивного каталізу, методи їх синтезу, можливості дезактивації та регенерації, особливості використання гетерогенних каталізаторів в газовій та рідких фазах, зв'язок між активністю, селективністю каталізаторів та їх характеристиками, застосування принципів «зеленої хімії» до технології каталізаторів та каталітичних процесів.

Основні завдання дисципліни:

- сформувані фундаментальні знання щодо фізико-хімічних закономірностей гетерогенного каталізу в газовій та рідкій фазах;
- надати знання про основні методи синтезу гетерогенних каталізаторів екологічного та продуктивного каталізу;
- показати важливість застосування різних фізико-хімічних методів дослідження каталізаторів для розуміння впливу їх складу на активність та селективність в гетерогенно-каталітичних реакціях;
- надати знання про основні теорії каталітичної дії гетерогенних каталізаторів: теорію активних центрів, теорію Баландіна, гіпотезу про активні ансамблі;
- сформувані уявлення про вплив кінетики процесів на каталітичні властивості гетерогенних каталізаторів;
- розвинути уявлення про вплив механізму перебігу процесу на каталітичні властивості;
- навчити застосовувати отримані знання при розгляді та дослідженні різноманітних гетерогенних каталізаторів та каталітичних процесів;
- показати перспективи змін в технології каталізаторів та каталітичних процесів для забезпечення умов «зеленої хімії»
- виробити навички використання методів гетерогенного каталізу у дисертаційних дослідженнях.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспіранти набувають таких компетентностей:

загальні вміння (компетенції):

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;
- здатність працювати у команді;
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;
- прагнення до збереження навколишнього середовища;
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;

спеціальні (фахові) вміння (компетенції):

- здатність застосовувати знання і розуміння математики та природничих наук для вирішення якісних та кількісних проблем в хімії;
- здатність розпізнавати і аналізувати проблеми, застосовувати обґрунтовані методи вирішення проблем, приймати обґрунтовані рішення в області хімії;
- здатність здійснювати сучасні методи аналізу даних;
- здатність оцінювати ризики;
- здатність здійснювати кількісні вимірювання фізико-хімічних величин, описувати, аналізувати і критично оцінювати експериментальні дані.

У результаті засвоєння дисципліни аспірант повинен демонструвати знання, вміння і навички, відповідні тематичним модулям дисципліни, і застосовувати їх в подальшому навчанні та роботі над дисертацією:

знати:

- основні закономірності та теорії, які стосуються гетерогенного каталізу в газовій та рідких фазах;
- методи синтезу гетерогенних каталізаторів;
- методи дослідження фізико-хімічних властивостей каталізаторів,
- методи дослідження процесів на гетерогенних каталізаторах в газовій та рідкій фазах;
- вплив кінетики та механізму процесів на каталітичні властивості;
- зв'язок між фізико-хімічними параметрами каталізаторів та їх каталітичними властивостями;
- особливості використання гетерогенних каталізаторів в екологічному та продуктивному каталізі;
- перспективи застосування гетерогенного каталізу для вирішення проблем захисту навколишнього середовища та виробництва цінних продуктів хімічної промисловості;

вміти:

- визначати фізико-хімічні властивості гетерогенних каталізаторів з використанням сучасних методів та комп'ютерних програм;
- аналізувати параметри, від яких залежить каталітична активність та параметри процесів;
- використовувати основні положення гетерогенного каталізу для характеристики та аналізу реакцій в газовій та рідкій фазах;
- аналізувати переваги, недоліки та можливість застосування на практиці основних положень теорій каталітичної дії твердих тіл;
- аналізувати фактори, від яких може залежати каталітична активність;
- пояснити вплив кінетичних факторів на перебіг процесу та каталітичні властивості;
- застосовувати різноманітні методи аналізу для дослідження властивостей каталізаторів та параметрів каталітичного процесу;

- застосовувати сучасні методи обробки даних для одержання достовірних результатів
- встановити фізико-хімічні характеристики каталізаторів від яких може залежати активність та селективність каталізаторів;
- застосовувати метод математичного планування експерименту для проведення досліджень та обробки одержаних даних;
- аналізувати одержані результати та скласти перспективний план для подальших досліджень

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовний модуль 1. Загальні положення каталізу.

Тема 1. Значення явища каталізу.

Основні особливості каталізу. Роль каталізу в розвитку хімічної та нафтохімічної промисловості. Класифікація каталітичних процесів. Адсорбція та каталізу. Екологічний та продуктивний каталізу. Каталізу у газовій та рідкій фазі. Фотокаталізу.

Тема 2. Теорії каталізу.

Теорія активних центрів. Принципи геометричної та енергетичної відповідності в теорії Баландіна. Теорія ансамблів Кобозева. Кластерний каталізу.

Тема 3. Адсорбція та каталізу.

Основні стадії каталізу. Фізична адсорбція. Визначення питомої поверхні та поруватої структури каталізаторів. Хімічна адсорбція (хемосорбція). Швидкість хемосорбції. Методи дослідження хемосорбції. Десорбція.

Тема 4. Загальні закономірності гетерогенного каталізу.

Співставлення швидкостей гомогенного та гетерогенного каталізу. Проміжна взаємодія в гетерогенному каталізу. Основні стадії проміжної взаємодії. Співвідношення Бренстеда-Поляні. Питома активність каталізаторів. Роль радикалів в гетерогенному каталізу. Гетерогенно-гомогенний каталізу.

Тема 5. Природа дії каталізаторів.

Фактори які визначають швидкість каталітичної реакції. Нові реакційні шляхи в присутності каталізаторів. Нанорозмірві масивні та нанесені каталізатори

Змістовний модуль 2. Каталітична активність та методи її визначення.

Тема 1. Вплив процесів переносу.

Зовнішня та внутрішня дифузія, макрофактори. Вплив дифузії на показники гетерогенних процесів в газовій та рідкій фазах. Визначення кінетичної області протікання процесів.

Тема 2. Характеристики каталітичної активності.

Конверсія реагенту та селективність. Швидкість реакції та питома швидкість реакції. Число обертів реакції. Залежність швидкості реакції від температури та складу реакційної суміші. Константа швидкості реакції та енергія активації. Методи визначення швидкості, константи швидкості реакції та енергії активації.

Тема 3. Методи дослідження каталітичних властивостей в газовій та рідких фазах..

Статичні методи. Проточні методи, диференціальний та інтегральний реактори. Імпульсний метод.

Тема 4. Каталітичні реактори для проведення гетерогенних каталітичних реакцій.

Реактор з стаціонарним шаром каталізатора (стаціонарний режим та нестаціонарний режим проведення процесу) Реактори з киплячим шаром каталізатору (пиловидний та організований шари каталізатору), реактору з перетоком каталізатору (Райзер-реактори).

Змістовий модуль 3. Кінетика та механізми гетерогенних каталітичних реакцій.

Тема 1. Кінетика гетерогенних каталітичних реакцій.

Молекулярність складних реакцій, порядок реакції. Ленгмюрівська кінетика каталітичних реакцій. Кінетика складних каталітичних реакцій за Темкіним. Дифузійна кінетика. Стаціонарний та квазістаціонарний режими каталізу. Вплив взаємодії реакційної системи та каталізатора на кінетику реакції. Зміна властивостей каталізатора під дією реакційної суміші.

Тема 2. Механізми каталітичних реакцій.

Ударний та адсорбційний механізми. Механізм наперемінного відновлення-окиснення. Асоціативний механізм. Механізм Габера-Вейса. Ізотопний обмін. Парціальне каталітичне окиснення вуглеводнів. Повне каталітичне окиснення. Кислотно-основний каталіз. Реакції за участю водню. Перспективи використання каталізу для вирішення проблем водневої енергетики.

Шляхи зменшення викидів парникових газів при реалізації процесів гетерогенного каталізу.

Тема 3. Методи дослідження кінетики та механізму реакцій.

Градентні та безградентні методи. Особливості дослідження в рідкій фазі. Термодесорбція. ІЧ-спектроскопія. Електронний парамагнітний резонанс. Хромато-мас-спектрометрія. Ізотопний аналіз.

Змістовий модуль 4. Наукові основи приготування гетерогенних каталізаторів

Тема 1. Методи приготування гетерогенних каталізаторів

Масивні та нанесені каталізатори. Співосадження. Просочення. Твердофазний синтез. Золь-гель технологія. Іонний обмін. Молекулярне нашарування. CVD та PVD методи. Альтернативні методи синтезу гетерогенних каталізаторів: механохімія, сонохімія, ультразвукова обробка. Плазмо-хімічний метод та іонна імплантація. Вакуумне та лазерне напилення.

Технології приготування гранул каталізаторів: фільтрація, випаровування, сушка, вакуумна сушка, таблетування, екструзія, термообробка. Вплив умов приготування на властивості каталізаторів. Механічна міцність каталізаторів.

Вплив форми та розміру гранул каталізаторів на їх каталітичні властивості.

Проблеми «зеленої хімії» в технології каталізаторів. Використання альтернативних методів синтезу каталізаторів

Тема 2. Методи дослідження фізико-хімічних властивостей гетерогенних каталізаторів

Рентгенофазовий аналіз. Порометрія, Диференціально-термічний аналіз. Скануюча електронна мікроскопія. Просвічуюча (трансмісійна) електронна мікроскопія. Електронний парамагнітний резонанс. Ядерний магнітний резонанс. Інфрачервона спектроскопія. Скануюча тунельна мікроскопія. Термодесорбція. Протягнена тонка структура рентгенівських спектрів поглинання. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія. Адсорбція молекул тестів. Газова та рідинна хроматографія.

4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назва тем	Кількість годин				Індивідуальна робота
	Всього	Аудиторна робота			
		Всього аудито рих	Лекції	Семіна ри	
Змістовний модуль 1. Загальні положення каталізу.					
Тема 1. Значення явища каталіз.			1		2
Тема 2. Теорії каталізу.			1	1	3
Тема 3. Адсорбція та каталіз.			2		5
Тема 4. Загальні закономірності гетерогенного каталізу			2		5
Тема 5. Природа дії каталізаторів.			1	1	5
Разом за змістовим модулем 1.			7	2	20
Змістовний модуль 2. Каталітична активність та методи її визначення.					
Тема 1. Вплив процесів переносу.			1		4
Тема 2. Характеристики каталітичної активності.			1	1	6
Тема 3. Методи дослідження каталітичних властивостей в газовій та рідких фазах.			2	1	5
Тема 4. Каталітичні реактори для проведення гетерогенних каталітичних реакцій.			1		5
Разом за змістовим модулем 2.			5	2	20
Змістовий модуль 3. Кінетика та механізми гетерогенних каталітичних реакцій.					
Тема 1. Кінетика гетерогенних каталітичних реакцій.			2	1	5
Тема 2. Механізми каталітичних реакцій			2	1	2
Тема 3. Методи дослідження кінетики та механізму реакцій.			1		3
Разом за змістовим модулем 3.			5	2	10
Змістовий модуль 4. Наукові основи приготування гетерогенних каталізаторів					
Тема 1. Методи приготування гетерогенних каталізаторів			3	1	5
Тема 2. Методи дослідження фізико-хімічних властивостей гетерогенних каталізаторів			2	1	5
Разом за змістовим модулем 4.			5	2	10
Всього:	90	30	22	8	60

5. ТЕМИ СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ

№	Назва теми	Кількість годин
Змістовний модуль 1. Загальні положення каталізу.		
1.	Теорія активних центрів. Принципи геометричної та енергетичної відповідності в теорії Баландіна. Теорія ансамблів Кобозева	1
2.	Фактори які визначають швидкість каталітичної реакції.	1
Змістовний модуль 2. Каталітична активність та методи її визначення.		
3.	Конверсія реагенту та селективність. Швидкість реакції та питома швидкість реакції.	1
4.	Статичні методи. Проточні методи	1
Змістовний модуль 3. Кінетика та механізми гетерогенних каталітичних реакцій.		
5.	Молекулярність складних реакцій, порядок реакції.	1
6.	Ударний та адсорбційний механізми. Механізм навіперемінного відновлення-окиснення. Асоціативний механізм.	1
Змістовний модуль 4. Наукові основи приготування гетерогенних каталізаторів		
7.	Масивні та нанесені каталізатори. Співосадження. Просочення. Твердо-фазний синтез. Золь-гель технологія.	1
8.	Рентгенофазовий аналіз. Порометрія. Скануюча електронна мікроскопія.	1
Всього годин:		8

7. САМОСТІЙНА РОБОТА

№	Назва теми	Кількість годин
Змістовний модуль 1. Загальні положення каталізу.		
1.	Адсорбція та каталіз. Екологічний та продуктивний каталіз. Каталіз у газовій та рідкій фазі. Фотокаталіз	2
2.	Теорія ансамблів Кобозева. Кластерний каталіз.	3
3.	Основні стадії каталізу. Фізична адсорбція. Визначення питомої поверхні та поруватої структури каталізаторів. Хімічна адсорбція	5
4.	Питома активність каталізаторів. Роль радикалів в гетерогенному каталізі. Гетерогенно-гомогенний каталіз. Нанорозмірні каталізатори	5
5.	Нові реакційні шляхи в присутності каталізаторів.	5
Змістовний модуль 2. Каталітична активність та методи її визначення.		
6.	Вплив дифузії на показники гетерогенних процесів в газовій та рідкій фазах. Визначення кінетичної області протікання процесів.	4
7.	Залежність швидкості реакції від температури та складу реакційної суміші. Константа швидкості реакції та енергія активації.	6
8.	Проточні методи, диференціальний та інтегральний реактори.	5
9.	Реактор з стаціонарним шаром каталізатора Реактори з киплячим шаром каталізатору	5
Змістовний модуль 3. Кінетика та механізми гетерогенних каталітичних реакцій.		
10.	Вплив взаємодії реакційної системи та каталізатора на кінетику реакції. Зміна властивостей каталізатора під дією реакційної суміші.	5
11.	Парціальне каталітичне окиснення вуглеводнів. Повне каталітичне окиснення. Кислотно-основний каталіз. Перспективи вирішення проблем водневої енергетики	4
12.	Особливості дослідження в рідкій фазі.	3
Змістовний модуль 4. Наукові основи приготування гетерогенних каталізаторів		
13.	Альтернативні методи синтезу гетерогенних каталізаторів: механохімія, сонохімія, ультразвукова обробка. Плазмо-хімічний метод та іонна імплантація. Реалізація принципів «зеленої хімії» в технології каталізаторів	5
14.	Електронний парамагнітний резонанс. Ядерний магнітний резонанс. Інфрачервона спектроскопія. Скануюча тунельна мікроскопія. Термодесорбція.	5
Всього годин:		60

8. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

- Словесні методи: пояснення, інструктаж, розповідь, лекція, бесіда (репродуктивна, евристична, катехізисна), самостійна робота з підручником, обговорення проблем, навчальні дискусії, мозковий штурм, кейс-методи, тестування, перехресна перевірка знань;
- Наочні: метод ілюстрацій (схеми, таблиці, графіки, тощо), метод демонстрацій (приладів, дослідів, технічних установок, відеофільмів);
- Метод інструктування;
- Репродуктивні методи: пояснювально-ілюстративний, відтворювальний;
- Проблемно-пошукові методи навчання (проблемний виклад, евристичний, дослідний).

9. РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ АСПІРАНТИ

Поточне тестування та самостійна робота														Підсумковий тест (іспит)	Сума
Змістовий модуль 1					Змістовий модуль 2				Змістовий модуль 3			Змістовий модуль 4		100	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14		
5	8	5	6	6	6	8	8	6	8	8	9	9	8		

ШКАЛА ОЦІНЮВАННЯ: НАЦІОНАЛЬНА ТА ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінки ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для іспиту	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
80-89	B	добре	
70-79	C	задовільно	
65-69	D		
60-64	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

10. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Навчально-методичний комплекс вивчення дисципліни вміщує робочу програму навчальної дисципліни, програму навчальної дисципліни, конспект лекцій з курсу, презентації, створені засобами Power Point, програми для аналізу адсорбційних даних, експериментальні дані по адсорбції з газового та рідкого середовища на різних матеріалах.

Для методичного забезпечення лекційного процесу використовуються дошки із записом крейдою та фломастером, ноутбук, мультимедійний проектор, лазерна вказівка.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 1

1. Класифікація каталітичних процесів. Адсорбція та катализ.
2. Зовнішня та внутрішня дифузія, макрофактори.
3. Молекулярність складних реакцій, порядок реакції.
4. Задача. Якими методами можна визначити термічну стійкість каталізатора? Приклади застосування.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 2

1. Екологічний та продуктивний катализ. Катализ у газовій та рідкій фазі. Перспективи зниження викидів парникових газів
2. Вплив дифузії на показники гетерогенних процесів в газовій та рідкій фазах.
3. Ударний та адсорбційний механізми. Механізм наперемінного відновлення-окиснення. Асоціативний механізм.
4. Задача. Якими методами можна визначити механічну міцність гранул каталізатора? Яку міцність в залежності від типу реактора?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 3

1. Катализ у газовій та рідкій фазі. Фотокатализ.
2. Визначення кінетичної області протікання процесів.
3. Градієнтні та безградієнтні методи. Особливості дослідження в рідкій фазі.
4. Задача. Як практично визначити енергію активації каталітичної реакції? Приклади.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 4

1. Принципи геометричної та енергетичної відповідності в теорії Баландіна.
2. Конверсія реагенту та селективність. Швидкість реакції та питома швидкість реакції.
3. Ленгмюрівська кінетика каталітичних реакцій.
4. Задача. Як практично визначити порядок реакції по компонентах? Приклади

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 5

1. Основні стадії каталізу. Фізична адсорбція. Визначення питомої поверхні та поруватої структури каталізаторів.
2. Залежність швидкості реакції від температури та складу реакційної суміші.
3. Парціальне каталітичне окиснення вуглеводнів. Повне каталітичне окиснення. Катализ для одержання водню.
4. Задача. Як встановити фазовий склад каталізатору? Приклад для складних композицій.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 6

1. Методи приготування гетерогенних каталізаторів. Масивні та нанесені каталізатори. Нанорозмірні масивні та нанесені каталізатори
2. Теорія активних центрів. Теорія ансамблів Кобозева.
3. Константа швидкості реакції та енергія активації.
4. Задача. Як встановити рівномірний розподіл елементів в масі каталізатора? Методи та приклади для складних оксидних каталізаторів?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 7

1. Проміжна взаємодія в гетерогенному каталізі. Основні стадії проміжної взаємодії. Співвідношення Бренстеда-Поляні.
2. Реактор з стаціонарним шаром каталізатора (стаціонарний режим та нестаціонарний режим проведення процесу)
3. Методи приготування каталізаторів: молекулярне нашарування. CVD та PVD методи.
4. Задача. Як визначити елементний склад та ступінь окиснення елементів на поверхні гетерогенного каталізатора?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 8

1. Методи визначення швидкості, константи швидкості реакції та енергії активації.
2. Технології приготування гранул каталізаторів
3. Реактори з киплячим шаром каталізатору (пиловидний та організований шари каталізатору)
4. Задача. Визначення кислотних властивостей поверхні каталізатора? Методи дослідження

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 9

1. Питома активність каталізаторів.
2. Вплив умов приготування на властивості каталізаторів. Альтернативні методи синтезу каталізаторів
3. Методи дослідження каталітичних властивостей. Статичні методи. Проточні методи, диференціальний та інтегральний реактори. Імпульсний метод.
4. Задача. Розрахунок активності та селективності для складних реакцій?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 10

1. Роль радикалів в гетерогенному каталізі. Гетерогенно-гомогенний каталіз..
2. Дифузійна кінетика.
3. Вплив форми та розміру гранул каталізаторів на їх каталітичні властивості.
4. Задача. Як визначити константу швидкості каталітичної реакції? Умови проведення реакцій в газовій та рідкій фазах для визначення цієї величини?

11. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Картель М., Лобанов В., Гороховатська М. Курс фізичної хімії. – Київ.: ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2011. – 384 с.
2. Боресков Г.К. Катализ - Новосибирск: Наука, 1971. – 267 с.
3. Боресков Г.К. Гетерогенный катализ. – М.: Наука, 1988. – 303 с.
4. Ройтер В.А., Голодец Г.И. Введение в теорию кинетики и катализа. – Киев: Наукова думка, 1971. – 174 с.
5. Голодец Г.И. Гетерогенно-каталитические реакции с участием молекулярного кислорода. – К. Наукова думка, 1977. – 360 с.
6. Голодец Г.И. Гетерогенно-каталитическое окисление органических веществ. – К. Наукова думка, 1978. – 375 с.
7. Стрелко В.В., Зажигалов В.А., Ставицкая С.С. и др.. Селективная сорбция и катализ на активных гулях и неорганических ионитах. – К.Наукова думка, 2008. – 303.
8. Рубаник М.Я., Гороховатский Я.Б. Неполное каталитическое окисление олефинов. – Киев: Техника, 1964. – 236 с.
9. Крылов О.В. Гетерогенный катализ. – М. Академкнига, 2004. – 679 С.
10. Гончарук В.В., Камалов Г.Л., Ковтун Г.А., Рудаков Е.С., Яцимирский В.К. Катализ. Механизмы гомогенного и гетерогенного катализа, кластерные подходы. – Киев: Наукова думка, 2002. – 541 с.
11. Пятницький Ю.І., Стрижак П.Є. Розрахунки рівноваг і моделювання кінетики гетерогенно-каталітичних реакцій. – Київ: Вадим Карпенко, 2011. – 163 с.
12. Чоркендорф И., Наймантсведрайт Х. Современный катализ и химическая кинетика. – Долгопрудный: Интеллект, 2018 – 500 с.
13. Киперман С.Л. Введение в кинетику гетерогенных каталитических реакций. – М.: Наука, 1964. – 607 с.
14. Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций. – М.: Мир, 1972. – 554 с.
15. Жермен Дж. Каталитические превращения углеводов. – М.: Мир, 1972. – 308 с.
16. Иоффе И.И., Письмен Л.М. Инженерная химия гетерогенного катализа. – М.: Химия, 1965. – 455 с.
17. Вэлс С. Химическая кинетика и расчеты промышленных реакторов. – М.: Химия, 1967. – с 416 с.
18. Кунии Д., Левеншпиль О. Промышленное псевдооживление. – М.: Химия, 1976. – 447 с.
19. Власенко В.М. Экологический катализ. – К. Наукова думка, 2010. – 237 С.
20. Тарасевич Ю.И. Поверхностные явления на дисперсных материалах. – К. Наукова думка, 2011. – 390 с.
21. Мухленов И.П. Технология катализаторов. – Ленинград, Химия, 1974. – 325 с.
22. Бончев П. Комплексообразование и каталитическая активность. – М.: Мир, 1975. – 272 с.

23. Моисеев И.И. –Комплексы в жидкофазном окислении олефинов. – м.: Наука, 1976. – 240 с.
- 24.Ермаков Ю.И., Захаров В.А., Кузнецов Б.Н. Закрепленные комплексы на оксидных носителях в катализе. – Новосибирск: Наука, 1980. – 248 с.
- 25.Хенрице-Оливэ Г. Оливэ С. Координация и катализ. – М.: Мир, 1980. – 421 с.
- 26.Томас Дж., Лемберт Р. Методы исследования катализаторов. – М.: Мир, 1983. – 302 с.
- 27.Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М.: Химия, 1984. – 592 с.
- 28.Танабе К. Твердые кислоты и основания. – М.: Мир, 1973. – 183 с.
- 29.Одзаки А. Изотопные исследования гетерогенного катализа. М.: Атомиздат, 1979 – 232 с.
- 30.Duprez D., Cavani F. Advanced processes in oxidation catalysis. – Singapore: Imperial College Press, 2014. – 1020 p.
- 31.Ertl G., Knozinger H., Schuth F., Wietkamp J. Handbook of heterogeneous catalysis. – Wienheim – Wiley VCH, 2008. – v. 1-8. - 3865 p.
- 32.Ozkan U.S. Design of heterogeneous catalysts. - Wienheim – Wiley VCH, 2009. – 322 p.
33. Zazhigalov V.A., Wieczorek-Ciurowa K. Mechanochemiczna aktywacja katalizatorow wanadowych. – Krakow: PK, 2015. – 452 P.
- 34.Centi G., Cavani F., Trifiro F. Selective oxidation by heterogeneous catalysis. – Dordrecht: Kluwer, 2001. – 505 p.
- 35.Van Santen R.A. Modern heterogeneous catalysis. - Wienheim: Wiley VCH, 2017. – 592 P.
- 36.Palmisano G., Jitan S.A., Garlisi C. Heterogeneous catalysis: Fundamental, engineering and characterizations. – Amsterdam: Elsevier, 2021. – 332 P.