

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Хіміко-технологічний факультет**

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Декан хіміко-технологічного  
факультету

\_\_\_\_\_ І.М. Астрелін  
(підпис)

“ 30 ” червня 2018 р.

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

**шифр за ОПШ ПВЗ за ОНП ПВЗ**

**ПРОГРАМА**

**навчальної дисципліни**

**рівень вищої освіти другий (магістерський)**

**спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія**  
(шифр і назва)

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

**спеціалізація Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення**  
(назва)

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

РОЗРОБНИКИ 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

\_\_\_\_\_ Н.М. Толстопалова  
«13» червня 2018 р.

© НТУУ «КПІ», 2018 рік

## Вступ

Програму навчальної дисципліни «Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів» складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки ОНП/ОПП Хімічні технології та інженерія другого рівня вищої освіти

спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія

спеціалізації Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення

Навчальна дисципліна належить до циклу професійної підготовки.

Статус навчальної дисципліни – професійної і практичної підготовки.

Обсяг навчальної дисципліни 6,5 кредитів ЄКТС.

Міждисциплінарні зв'язки:

Навчальний матеріал дисципліни «Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів» базується на знаннях дисциплін «Загальна та неорганічна хімія», «Процеси і апарати хімічних виробництв», «Загальна хімічна технологія», «Фізична хімія», «Теоретичні основи технології неорганічних речовин», «Хімічна технологія неорганічних речовин».

## 1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 1.1. Мета навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей: 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.

### 1.2. Основні завдання навчальної дисципліни

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.

## **2. Зміст навчальної дисципліни**

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 195 годин/6,5 кредитів ECTS. Навчальна дисципліна містить один кредитний модуль:

1) Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів.

### **РОЗДІЛ 1. Механізми, кінетика і макрокінетика гетерогенних каталітичних процесів**

Тема 1. Статика, кінетика і механізми адсорбційних процесів

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 БЕТ. Капілярна конденсація. Рівняння Кельвіна. Механізм хімічної адсорбції. Статика і кінетика адсорбції. Типи ізотерм адсорбції в залежності від моделі поруваної структури. Адсорбція газових сумішей. Теплота адсорбції: інтегральна, диференціальна, ізостерна. Методи визначення теплоти адсорбції. Взаємодія реакційного середовища з каталізатором. Активована адсорбція. Використання рівняння Кельвіна для побудови залежності об'єму пор від розміру пори.

Тема 2 Кінетика і механізми каталітичних процесів

Кінетика гетерогенних каталітичних реакцій на однорідній поверхні. Закон діючих поверхонь. Кінетика Ленгмюра-Хіншельвуда. Спостережна енергія активації і порядок реакції. Передбачення каталітичної дії: теорії гетерогенного каталізу Баландіна та Борескова. Передбачення каталітичної дії: теорії гетерогенного каталізу Рогинського та Волькенштейна. Вплив механізму реакції на вид кінетичного рівняння: адсорбція продуктів реакції, ударний механізм Ріділа, дисоціативна адсорбція.

Рівняння складної каталітичної реакції: оборотної, паралельної, послідовної. Кінетика реакцій на каталізаторах з активністю, що змінюється: самоотруєння, отруєння, блокування, старіння.

Квазістаціонарні реакції. Умови квазістаціонарності. Теорія стаціонарних реакцій. Маршрут, швидкість по маршруту. Кількість незалежних маршрутів реакції. Стехіометричний базис маршрутів.

Тема 3. Дифузійна кінетика каталітичних процесів

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.

Кінетика процесу в внутрішньодифузійній області. Перший закон Фіка. Дифузія молекулярна і за механізмом Кнудсена, залежність коефіцієнтів дифузії від параметрів каталізатору і процесу. Ефективний коефіцієнт дифузії. Квазігомогенна модель гранули каталізатору.

Визначення області протікання процесу: вплив температури, лінійної швидкості, розміру гранули каталізатору.

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. Стаціонарний та нестаціонарний каталіз.

Тема 4. Кінетика гомогенного каталізу та топохімічних реакцій

Рівняння швидкості гомогенного каталітичного процесу. Кінетика топохімічних реакцій. Утворення зародків нової фази і їх зріст.

Кінетика формування каталізаторів. Відновлювання оксидних каталізаторів.

Література: 1 - 4, 1д, 2д, 3д.

## **РОЗДІЛ 2. Технологія каталізаторів**

Тема 1. Основні положення. Технологія осаджених каталізаторів.

Основні положення. Класифікація промислових каталізаторів. Сировина. Етапи виробництва контактних мас. Засоби формовки. Класифікація методів приготування каталізаторів.

Прийоми розрахунків активності і селективності каталізаторів.

Технологія осаджених каталізаторів. Типи каталізаторів. Загальна технологічна схема приготування осаджених каталізаторів. Основи осадження. Основи фільтрування. Промивка, сушка, формування каталізатору. Технологія приготування каталізатора конверсії CO марки СТК-І. Технологічна схема. Технологія приготування каталізатору НТК-4. Технологічна схема виробництва. Технологічні схеми каталізаторів виробництва СТК-1, НТК-4, СТК-СФ.

Тема 2. Технологія приготування каталізаторів на носіях.

Типи каталізаторів. Загальна технологічна схема приготування каталізаторів на носіях. Основи просочення, занурення, сприсування. Характеристики та засоби приготування носіїв: пемзи, азбесту, кізельгуру» металокераміки, активованого вугілля, силікагелю, оксидів алюмінію, корунду. Принципова схема приготування силікагелю. Технологія приготування каталізатору конверсії метану ДІАП-3. Технологічна схема виробництва.

Технологічні схеми виробництва каталізаторів ДІАП-3-6-н, ДІАП-8с, АВК-10, К-905, АПК-2.

Тема 3. Технологія приготування каталізаторів методом механічного змішування

Типи каталізаторів. Загальна технологічна схема приготування каталізаторів методом механічного змішування. Основи змішування, формування. Технологія приготування каталізатору синтезу метанолу. Технологічна схема виробництва.

Технологічні схеми виробництва каталізаторів СВД, ДІАП-16, СМС-4, СНМ-У.

Тема 4. Технологія приготування сітчастих металевих каталізаторів

Типи каталізаторів. Загальна технологічна схема приготування сітчастих металевих каталізаторів. Технологія приготування платиного сітчастого каталізатору окислення аміаку. Технологія приготування каталізатору засобом магнетронного напилення.

Технологічні схеми виробництва каталізаторів Pt-Rh. Pt-Rh-Pd.

Тема 5. Технологія приготування плавеного каталізатору

Типи каталізаторів, загальна технологічна схема приготування плавеного каталізатору. Технологія приготування каталізатору синтезу аміаку. Технологічна схема. Скелетні каталізатори. Загальна технологічна схема їх приготування.

Технологічні схеми виробництва каталізаторів СА-1, СА-С, СА-1В.

Тема 6 Каталізатори на основі глин та цеолітів

Типи каталізаторів. Загальна технологічна схема приготування природних каталізаторів та їх модифікація. Загальна технологічна схема приготування цеолітних каталізаторів.

Технологічні схеми виробництва каталізаторів з бентонітових глин. Цеолітні і гранульовані каталізатори.

### **РОЗДІЛ 3. Методи дослідження каталізаторів**

Тема 1. Методи визначення активності каталізаторів

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 SO<sub>2</sub>. Імпульсні методи, дослідження активності каталізаторів.

Тема 2. Дослідження структури каталізаторів.

Методи визначення макроструктури каталізаторів. Адсорбція як засіб визначення поверхні каталізатору. Аналіз рівняння БЕТ, 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 щільності каталізаторів. Ртутна установка для визначення уявної щільності каталізаторів.

Визначення механічної міцності каталізаторів. Методи механічних іспитів каталізаторів. Статичні та динамічні іспити. Метод стирання. Іспити каталізаторів фільтруючого шару. Дослідження каталізаторів в умовах реакції.

### **3. Заплановані види навчальної діяльності та методи навчання**

Рекомендована тематика практичних занять

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. Приблизна тематика практичних занять:

1. Розрахунки адсорбційних процесів. Статика і динаміка адсорбції
2. Розрахунок каталітичних процесів, що протікають в кінетичній області. Визначення кінетичних параметрів за заданим механізмом.
3. Розрахунок густини, в'язкості, теплопровідності, коефіцієнта дифузії індивідуальних газів та їх суміші
4. Розрахунок каталітичних процесів, що протікають в внутрішньодифузійній області.
5. Розрахунок каталітичних процесів, що протікають в зовнішньодифузійній області.

Література: 4.

Рекомендований перелік лабораторних робіт

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

Приблизна тематика лабораторних занять:

1. Одержання каталізаторів глибокого окиснення вуглеводів (метану) методом співосадження активних компонентів.
2. Приготування каталізатора методом просочування та його дослідження.
3. Одержання каталізаторів методом електрохімічного осаження активних компонентів на сітчастому носії.
4. Одержання активного оксиду алюмінію осаженням з розчину.
5. Визначення питомої поверхні каталізатора.
6. Каталітичне окиснення оксиду вуглецю.
7. Визначення фізико-хімічних властивостей каталізаторів.
8. Визначення загальної поруватості каталізатора

Література: 5.

Рекомендовані індивідуальні завдання

Метою індивідуального завдання – розрахункової роботи – 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 наближено до реальних виробничих проблем. При виконанні РР студентами здобуваються наступні знання і вміння:

- закріплення, поглиблення і узагальнення одержаних студентом теоретичних, загально-інженерних, і спеціальних знань;
- виконання на ПК розрахунків з використанням сучасних методів прикладної математики і графічних пакетів.

Література: 4.

#### **4. Оцінювання результатів навчання**

Семестрова атестація проводиться у виді екзамену. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система і університетська шкала.

#### **5. Рекомендована література**

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 «Катализ та технологія катализаторів»./Укл. Ю.В. Князев, 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.
7. Киперман С.Л. Введение в кинетику гетерогенных каталитических реакций. - М.: Наука, 1964. - 608с.
8. Иоффе И.И. Инженерная химия гетерогенного катализа. / И.И. Иоффе, Л.М. Письмен - Л.: Химия, 1972. – 462 с.



9. Чонкендорф, И. Современный катализ и химическая кинетика / И. Чонкендорф, Х. Наймантсведрайт ; пер. с англ. В. И. Ролдугина. - Долгопрудный : Интеллект, 2010. - 504с.
10. Сеттерфилд Ч. Практический курс гетерогенного катализа. - М.: Мир, 1984. - 520 с.