



Теорія адсорбції і каталізу

Робоча програма освітньої компоненти (Силабус)

Реквізити освітньої компоненти

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>16 Хімічна інженерія та біоінженерія</i>
Спеціальність	<i>161 Хімічні технології та інженерія</i>
Освітня програма	<i>ОНП «Хімічні технології та інженерія»</i>
Статус освітньої компоненти	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг освітньої компоненти	<i>4 кредити/120 год. (лекційні заняття – 18 годин, практичні заняття – 36 годин, СРС – 66 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР, ДКР</i>
Розклад занять	<i>Лекція 1 години на тиждень (1 пара на 2 тижня), практичні заняття 2 години на тиждень (1 пара) за розкладом на roz.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент Концевой Андрій Леонідович, kontsev@xtf.kpi.ua Практичні заняття: к.т.н., доцент Концевой Андрій Леонідович, kontsev@xtf.kpi.ua к.т.н., доцент Концевой Сергій Андрійович, serkon157@ukr.net.</i>
Розміщення курсу	<i>https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&sd=12646&cm=66899&rcms=259898&ssm=cm&tree_list=</i>

Програма освітньої компоненти

1. Опис освітньої компоненти, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Адсорбція широко використовується для очищення газів і води, водних та неводних розчинів. Адсорбція реагентів і продуктів є обов'язковою стадією гетерогенно-каталітичних процесів. Теорія і практика гетерогенного каталізу передбачає вивчення методів визначення стадій каталітичного процесу, що гальмують процес, і вибору відповідних рівнянь кінетики – саме це дозволяє правильно застосовувати технологічні важелі для інтенсифікації каталітичних процесів. Модуль «Теорія адсорбції і каталізу» сприятиме опануванню термодинаміки (стативи), кінетики і динаміки адсорбційних процесів, основних механізмів і відповідних рівнянь хімічної кінетики, основних законів дифузійної макрокінетики. Отриманні знання закріплюються при виконанні завдань комп'ютерного практикуму і домашньої контрольної роботи розрахункового характеру, що розвине у студентів вміння визначати параметри рівнянь стативи, кінетики і динаміки адсорбційних процесів, розраховувати рівновагу складних хімічних реакцій, складати кінетичні рівняння каталітичних процесів і розраховувати кінетичні параметри, робити розрахунки дифузійних стадій каталітичних процесів, виконувати інтегрування складних кінетичних рівнянь – математичних моделей каталітичних реакторів. Реалізація розрахунків передбачена у середовищі Excel або пакеті

MathCAD. Поєднання теоретичних і технологічних знань з вмінням програмувати сприятиме глибокому опануванню змісту освітнього компоненту.

Предмет освітньої компоненти: *теоретичні основи адсорбції, кінетики і макрокінетики гетерогенно-каталітичних процесів*

Мета освітньої компоненти: *формування у студентів здатностей:*

Загальні компетентності: (ЗК01) Здатність генерувати нові ідеї (креативність); (ЗК02) Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; (ЗК03) Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; (ЗК04) Здатність оцінювати і адаптувати освоєні наукові методи і способи діяльності до умов сталого розвитку.

Вивчення освітнього компоненту посилює наступні спеціальні (фахові) компетентності: *(ФК04) Здатність використовувати сучасне спеціальне наукове обладнання та програмне забезпечення при проведенні експериментальних досліджень і здійсненні дослідно конструкторських розробок у сфері хімічних технологій та інженерії.*

Вивчення освітнього компоненту посилює наступні програмні результати навчання: *(ПРН01) Критично осмислювати наукові концепції та сучасні теорії хімічних процесів та хімічної інженерії, застосовувати їх при проведенні наукових досліджень та створенні інновацій; (ПРН02) Здійснювати пошук необхідної інформації з хімічної технології, процесів і обладнання виробництв хімічних речовин та матеріалів на їх основі, систематизувати, аналізувати та оцінювати відповідну інформацію; (ПРН09) Знання сучасних методів дослідження, приладів та обладнань, програмного забезпечення в області хімічних технологій та інженерії; (ПРН13) Вирішувати проблеми в області хімічної технології та інженерії як за стандартними підходами, так й власними оригінальними методиками.*

2. Пререквізити та постреквізити освітньої компоненти (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою компонентою)

Пререквізити: Навчальний матеріал освітньої компоненти «Теорія адсорбції і каталізу» базується на знаннях, отриманих при навчанні за ОПП Бакалавра.

Постреквізити: Освітні компоненти, які базуються на результатах навчання: переддипломна практика, виконання магістерської дисертації.

3. Зміст освітньої компоненти

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.

Рівняння швидкості гомогенного каталітичного процесу.

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: зовнішньо дифузійна і внутрішньо дифузійна. Кінетика процесу в зовнішньодифузійній області. Вплив основних технологічних параметрів на проходження процесу. Розрахунок коефіцієнту масовіддачі за критеріальними рівняннями.

Кінетика процесу в внутрішньо дифузійній 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.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці університету, електронному кампусі КПІ та на сервері кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології та розміщені на електронному ресурсі ELAKPI. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні. Розділи та теми, з якими студент має ознайомитись самостійно, викладач зазначає на лекційних та практичних заняттях.

Базова:

1. Теорія адсорбції і каталізу: Курс лекцій. Комп'ютерний практикум. Домашня контрольна робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Хімічні технології та інженерія» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / А. Л. Концевой, С.А. Концевой ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 12 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 262 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/63329>

Додаткова

2. Комп'ютерні технології у процесах неорганічних виробництв [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітня програма «Хімічні технології неорганічних, електродних матеріалів та водоочищення» / А. Л. Концевой, С. А. Концевой ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 4,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 238 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50546>
3. Хімічна технологія каталізаторів та каталітичних процесів: Курс лекцій з розділу «Кінетика і макрокінетика гетерогенно-каталітичних процесів». Практикум. Розрахункова робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / А. Л. Концевой ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 10,16 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 183 с. <https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=179961>

5. Методика опанування освітньої компоненти

Лекційні заняття

Вичитування лекцій з освітньої компоненти проводиться паралельно з виконанням студентами практичних занять з розглядом питань, що виносяться на самостійну роботу. Під час читання лекцій застосовуються засоби для відеоконференцій Zoom та відео лекцій, розміщених на ютубі. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої.

№	Опис занять
1	<p>Тема 1 Статика, кінетика і механізми адсорбційних процесів</p> <p>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, кінетика і динаміка адсорбції.</p>
2	<p>(Продовження теми 1) Адсорбція газових сумішей. Теплота адсорбції: інтегральна, диференціальна, ізостерна. Методи визначення теплоти адсорбції. Взаємодія реакційного середовища з каталізатором. Активована адсорбція.</p>
3	<p>Тема 2 Кінетика і механізми каталітичних процесів</p> <p>Кінетика гетерогенних каталітичних реакцій на однорідній поверхні. Закон діючих поверхонь. Кінетика Ленгмюра-Хіншельвуда. Спостережна енергія активації і порядок реакції.</p>
4	<p>(Продовження теми 2) Вплив механізму реакції на вид кінетичного рівняння: адсорбція продуктів реакції, ударний механізм Ріділа, дисоціативна адсорбція вихідного газу.</p>
5	<p>(Продовження теми 2) Рівняння складної каталітичної реакції: оборотної, паралельної, послідовної. Кінетика реакцій на каталізаторах з активністю, що змінюється: самоотруєння, отруєння, блокування, старіння. Механізми гомогенних каталітичних реакцій. Рівняння швидкості</p>
6	<p>Тема 3. Дифузійна кінетика каталітичних процесів</p> <p>Порувата структура і поверхня каталізаторів. Вплив процесів переносу речовини і теплоти на хід гетерогенної каталітичної реакції. Области проходження процесу: зовнішньо дифузійна і внутрішньо дифузійна. Кінетика процесу в зовнішньо дифузійній області. Вплив основних технологічних параметрів на проходження процесу. Розрахунок коефіцієнту масовіддачі за критеріальними рівняннями.</p>
7	<p>(Продовження теми 3) Кінетика процесу у внутрішньо дифузійній області. Перший закон Фіка. Дифузія молекулярна і за механізмом Кнудсена. Квазігомогенна модель гранули каталізатору. Ефективний коефіцієнт дифузії.</p>
8	<p>(Продовження теми 3) 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>
9	<p>(Продовження теми 3) Стаціонарний та нестаціонарний каталіз. Аналіз рівняння швидкості для реакції першого порядку. Оптимальні і раціональні умови перебігу каталітичного процесу</p> <p>Модульна контрольна робота (45 хв.).</p>

Практичні заняття

Основною метою практичних занять є навчання студентів використовувати теоретичні знання, набуті на лекціях і під час самостійної роботи, для вирішення конкретних практичних завдань з фахового напрямку, набуття студентами вмінь і навичок проведення технологічних розрахунків. При цьому одночасно ставиться за мету поглиблення теоретичних знань при усвідомленні студентами методики застосування цих знань для розрахункового обґрунтування реальних рішень.

№	Тема заняття
1	Вступне заняття. Обробка адсорбційних даних (ізотерм адсорбції). Розрахунок питомої поверхні за рівняннями Ленгмюра і БЕТ, визначення параметрів пористої структури за рівнянням Кельвіна в середовищі Excel.
2	Розрахунки адсорбційних процесів в середовищі Excel – статика і динаміка адсорбції.
3	Розрахунки адсорбційних процесів засобами MathCAD – статика і динаміка адсорбції.
4	Розрахунок кінетичних параметрів адсорбційного процесу в середовищі Excel.
5	Розрахунок каталітичних процесів, що перебігають у кінетичній області. Визначення кінетичних параметрів в середовищі Excel.
6	Розрахунок кінетичних параметрів топохімічних реакцій в середовищі Excel.
7	Розрахунок густини, в'язкості, теплопровідності, коефіцієнта дифузії індивідуальних газів та їх суміші в середовищі Excel.
8	Розрахунок каталітичних процесів, що перебігають у зовнішньо дифузійній області, в середовищі Excel на прикладі окиснення аміаку.
9	Розрахунок рівноваги каталітичних процесів на прикладі пароповітряної конверсії метану засобами MathCAD.
10	Кінетичний розрахунок каталітичних процесів на прикладі пароповітряної конверсії метану засобами MathCAD
11	Кінетичний розрахунок каталітичних процесів на прикладі парової конверсії природного газу засобами MathCAD
12	Кінетичний розрахунок каталітичних процесів, що перебігають у внутрішньо дифузійній області, на прикладі окиснення SO_2 в SO_3 засобами MathCAD. Побудова лінії оптимальних температур.
13	Кінетичний розрахунок каталітичних процесів, що перебігають у внутрішньо дифузійній області, на прикладі синтезу аміаку засобами MathCAD
14	Розрахунок теплообміну у три поличній колоні синтезу аміаку засобами MathCAD.
15	Розрахунок теплообміну у чотири поличній колоні синтезу аміаку засобами MathCAD.
16	Розрахунок рівноваги каталітичних процесів на прикладі паро-вуглекислотної конверсії природного газу засобами MathCAD.
17	Доопрацювання і модернізація програм. Ліквідація заборгованостей. Виконання додаткового завдання: розрахунок рівноваги парової конверсії природного газу.
18	Заключне заняття. Захист програмних продуктів. Ознайомлення з підсумковим результатом. Виконання додаткових завдань. Прийняття підсумкових рішень.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента (СРС) в обсязі 66 годин протягом семестру включає повторення лекційного матеріалу, складання попередніх варіантів програм для проведення розрахунків практичних занять, виконання домашньої контрольної роботи (ДКР), підготовка

до модульної контрольної роботи (МКР). Рекомендована кількість годин, яка відводиться на підготовку до зазначених видів робіт:

Вид СРС	Кількість годин на підготовку
Підготовка до практичних занять: повторення лекційного матеріалу, складання попередніх варіантів програм для проведення розрахунків та їх доопрацювання після занять	44 години
Виконання ДКР	12 годин
Підготовка до МКР	4 години
Підготовка до заліку	6 годин
Всього	66 годин

7. Індивідуальні завдання

Для більш ґрунтовного опанування програмного матеріалу освітньої компоненти студенти одержує індивідуальне завдання на домашню контрольну роботу за темами (варіанти виконання визначає викладач): 1. Розрахунки каталітичного реактору (назва за завданням викладача). 2. Розрахунки кінетичних параметрів оборотних хімічних реакцій. 3. Розрахунки з виробництва залізо-хромового каталізатору конверсії CO. Ціллю індивідуального завдання є стимулювання студентів до самостійного осмислення теоретичного матеріалу і результатів розрахунків, самостійного виконання матеріальних, теплових і конструктивних 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.

Політика та контроль

8. Політика навчальної освітньої компоненти

У звичайному режимі роботи університету лекції та практичні заняття проводяться в навчальних аудиторіях. У змішаному режимі лекційні та комп'ютерні заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський. Відвідування лекцій та комп'ютерного практикуму є обов'язковим. На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої. Перед початком чергової теми лектор може надсилати питання з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості.

У ході виконання всіх завдань практичних занять студент створює власний програмний продукт, що надсилається на електронну пошту викладача для перевірки і зберігання

Політика дедлайнів та перескладань: визначається п. 8 Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського

Політика щодо академічної доброчесності: визначається політикою академічної чесності та іншими положеннями Кодексу честі університету. <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf>, що встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з ОК «».

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

Види контролю встановлюються відповідно до Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського:

1. Поточний контроль: опитування на лекціях, оцінка рівня виконання завдань практичних занять і МКР, захист ДКР (позитивна оцінка, яка має бути не менше 60% від зазначеного в PCO).
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
3. Семестровий контроль: залік.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Рейтинг студента складається з балів, що він отримує за:

- 1) роботу на 16 практичних заняттях;
- 2) виконання та захист ДКР;
- 3) модульну контрольну роботу.

1 Робота на практичних заняттях:

Ваговий бал за виконання завдання практичних занять становить 5 балів. Кількість тематичних занять з виконання завдань – 16. Максимальна кількість балів на усіх заняттях дорівнює: 80 балів.

Критерії оцінювання:

5-4,74 балів: безпомилкове виконання та оформлення завдання під час поточного заняття або до кінця дня;

4,73-3,75 бали: вірно в цілому виконання з незначними недоліками в оформленні, або помилковим виконанням окремих елементів роботи, здача роботи під час наступного заняття;

3,74-3 бали: вірно виконання роботи після навідної допомоги викладача або проведення роботи зі значущими помилками, які підлягають виправленню; здача роботи під час наступного заняття;

0 балів: використання матеріалів інших студентів (списування).

2. Домашня контрольна робота

Ваговий бал – 10

Критерії оцінювання:

– своєчасне безпомилкове виконання та оформлення всіх завдань – 10-9,5 балів;

– своєчасне вірно в цілому рішення з незначними недоліками в оформленні, або похибками окремих елементів розрахунку – 9 балів;

– виконання вірних розрахунків після навідної допомоги викладача або проведення розрахунків зі значущими помилками, які підлягають виправленню 8 балів;

– Несвоєчасне виконання вірних розрахунків після навідної допомоги викладача або проведення розрахунків зі значущими помилками, які підлягають виправленню – 7-6 балів;

– Невиконання або плагіат – 0 балів.

3. Модульна контрольна робота (МКР)

Максимальна кількість балів за модульну контрольну роботу тривалістю 45 хвилин становить 10. Можливі 2 варіанти проведення МКР.

1. При проведенні МКР у дистанційному режимі використовується тестова система оцінки знань. Результат визначається відношенням кількості правильних відповідей студента N до їхньої максимальної кількості N_m : $\text{оцінка} = 10 * N / N_m$.
2. Нарахування балів за письмову МКР здійснюється за наступними критеріями.

- повна відповідь (не менше 95% потрібної інформації) – 10 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 85% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними помилками – 9 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними помилками – 8 балів;
- неповна відповідь (не менше 65% потрібної інформації) та незначні помилки – 7 балів;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 6 балів;
- списування (плагіат) під час контрольної, відмова від виконання контрольної роботи – 0 балів.

Заохочувальні бали за:

1. За модернізацію алгоритмів розрахунків нараховується від 1 до 3 заохочувальних балів;
2. За аналітичний огляд окремих тем освітнього компоненту від 1 до 3 заохочувальних балів.

Семестровий рейтинг $R_c = 80 + 10 + 10 = 100$.

Необхідною умовою отримання заліку є зарахування модульної контрольної роботи, виконання і захист ДКР, виконання всіх завдань комп'ютерного практикуму.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

10. Додаткова інформація з освітньої компоненти

Вимоги до оформлення ДКР, перелік запитань до МКР надаються студентам у файлового виду на пошту групи і аналізуються під час лекцій.

Контрольні запитання для самоперевірки знань перед МКР або заліком

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 перебігу гетерогенного каталітичного процесу. Роль адсорбції в каталізі. Адсорбент, адсорбат і адсорбтив.

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

5. Активована адсорбція. Теплота 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 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 з 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. Вплив температури на ступінь використання поверхні.

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.

17. Нестационарний 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 і раціональні температура, тиск, концентрація в гетерогенному каталітичному процесі для оборотних і необоротних реакцій.

Силабус освітньої компоненти:

Складено НПП кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології:

к.т.н. доц. Концевой А.Л.

к.т.н. доц. Концевой С.А.

Ухвалено кафедрою технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології (протокол №29 від 28.06.2023 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол №9 від 25.05.2023 року)