

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Декан хіміко-технологічного  
факультету

\_\_\_\_\_ Астрелін І.М.  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

**“ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН”**  
(назва навчальної дисципліни)

**6С**  
(шифр за ОП)

**ПРОГРАМА  
навчальної дисципліни**

**рівень вищої освіти *перший (бакалаврський)***

**спеціальність *161-хімічні технології та інженерія***  
(шифр і назва)

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

Ухвалено методичною комісією  
Хіміко-технологічного факультету  
(назва інституту/факультету)

Протокол від 21.06.2018 р. № 6

Голова методичної комісії  
\_\_\_\_\_ Сангінова О.В.  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

Київ – 2018

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Доцент, к.х.н., Супрунчук В.І.  
(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 від «13» червня 2018 року № 13

В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_  
(підпис) Толстопалова Н.М.  
(ініціали, прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

## Вступ

Програму навчальної дисципліни "Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин" складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки ОКР бакалавр напряму 051301 хімічна технологія. Навчальна дисципліна "Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин" належить до Професійної складової Дисциплін вільного вибору студентів.

Предмет навчальної дисципліни – фізико-хімічні закономірності, які обґрунтовують розрахунок та вибір технологічних режимів виробництва неорганічних речовин

Дисципліна «Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин» є однією з ключових у формуванні професійних компетенцій сучасного фахівця з технології неорганічних речовин. Навчальний матеріал дисципліни "Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин" базується на знаннях нормативних дисциплін «Прикладна хімія», «Фізична хімія», «Математика», «Фізика», «Загальна та неорганічна хімія», а також формує базу для подальшого вивчення профільюючих дисциплін, таких як «Загальна хімічна технологія», «Процеси і апарати хімічних виробництв», «Основи проектування хімічних виробництв», «Хімічна технологія неорганічних речовин», «Сучасне обладнання технологічних процесів галузі».

Окрім вивчення фізико – хімічного обґрунтування процесів хімічної технології неорганічних речовин є нагальна потреба в ранньому ознайомленні студентів молодших курсів бакалаврату з типовими фізико – хімічними і тепловими процесами в технології неорганічних речовин. На цій стадії навчання студенти, які паралельно вивчають дисципліни "Фізична хімія" і "Процеси та апарати хімічної технології", мають можливість наочно пересвідчитися в практичному прикладанні в деякій мірі ідеалізованих теоретичних знань до реальних об'єктів і до вирішення ряду реальних технологічних проблем їхньої майбутньої спеціальності.

## 1. Мета та завдання навчальної дисципліни

### 2.1. Мета навчальної дисципліни.

Метою вивчення дисципліни «Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин» є опанування студентами специфічних методів термодинамічного аналізу процесів хімічної технології неорганічних речовин, які сприяють глибокому розумінню суті перетворення сировини в цільову продукцію і дозволяють спеціалістам-експлуатаційникам правильно оцінювати коливання значень оптимальних технологічних режимів, не допускаючи їх перехід у важко регульовану фазу і попереджуючи таким чином несанкціоновані зупинки виробництва, а тим паче аварійні ситуації.

### 2.2. Основні завдання навчальної дисципліни.

Студенти після засвоєння навчальної дисципліни «Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин» мають продемонструвати:

- **знання** сукупності фізико-хімічних властивостей реактантів, які впливають на перебіг технологічного процесу та інтервалу зміни їх значень при індивідуальному та сукупному варіюванні параметрів технологічного процесу; сукупності фізико-хімічних властивостей процесів, на яких ґрунтуються технологічні режими виробництва та інтервали і напрямки їх зміни при індивідуальному та сукупному варіюванні параметрів технологічного процесу; методів обґрунтування та розрахунку значень технологічних режимів процесів хімічної технології неорганічних речовин. Процесів ХТНР, що базуються на системах послідовно-паралельних в більшості оборотних реакцій за участю газів, рідких, твердих речовин та їх

різноманітних сполук, які здійснюються в присутності інертних домішок при нестехіометричному співвідношенні реагентів та наявності у вихідній реакційній суміші продуктів реакції. Технологічні режими процесів ХТНР характеризуються наявністю рециклів, з широким інтервалом зміни температури, тиску, співвідношення компонентів реакційної суміші гідро- та газодинамічних умов на різних стадіях процесу. Складний взаємовплив як складу реакційної суміші так і технологічних режимів проведення процесу на якість цільової продукції потребує від спеціалістів напряму „Хімічна технологія неорганічних речовин” глибоких знань суті перетворень сировини в якісну продукцію та вміння проводити обґрунтування та розрахунки значень технологічних режимів в умовах дефіциту вихідних даних, а також здійснювати специфічний аналіз впливу параметрів процесу на підвищення ступенів перетворення вихідної сировини, зменшення питомих енерговитрат та поліпшення екологічних характеристик виробництва;

**-уміння:** обчислити значення величин, що характеризують ступінь глибини проходження технологічного процесу стосовно кожного компоненту з використанням стехіометричних закономірностей; обчислити значення термодинамічних величин, що використовуються для розрахунку матеріального та теплового балансу процесу, в тому числі в реальних газових системах та при дефіциті довідкових даних; складати різними методами розрахункові рівняння для обчислення рівноважного виходу цільового продукту стосовно конкретного процесу ХТНР за участю газової фази; складати розрахункові рівняння для обґрунтування технологічних режимів проведення нейтралізаційно-осаджувальних та хемо-абсорбційних процесів ХТНР; визначити розрахунковими методами значення технологічних режимів, що відповідають максимальному ступеню перетворення вихідної сировини та максимальній енерготехнологічності процесу;

**-досвід** застосовувати: основні фізико-хімічні методи аналізу й оцінки стану хіміко-технологічних систем; сучасні уявлення про механізм і принципи хімічних перетворень речовин і перетворення енергії в них; базові уявлення про ознаки, параметри, характеристики, властивості гомогенних та гетерогенних систем, розчинів електролітів і неелектролітів у хімічних технологіях неорганічних речовин

## 2. Структура навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 180 години і 6 кредитів ECTS.

Навчальна дисципліна містить один кредитний модуль – ”Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин”.

### Рекомендований розподіл навчального часу

Форма навчання	Кредитні модулі	Всього		Розподіл навчального часу за видами занять				Семестрова атестація
		кредитів	годин	Лекції	Практичні (семінарські) заняття	Лабораторні роботи (комп'ютерні практикуми)	СРС	
Денна	Всього	6	180	36	54	-	90	
	1	6	180	36	54	-	90	екзамен
Заочна	Всього	6	180	8	10	-	162	
	1	6	180	8	10	-	162	екзамен

### 3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ. Мета і задачі дисципліни ТОХТНР. Специфіка процесів ХТНР. Класифікація процесів ХТНР по типу реакцій. Хімічна концепція процесів ХТНР. Вимоги до хіміко-технологічних систем ХТНР.

Матеріальний та тепловий (енергетичний) баланс хіміко-технологічного процесу. Фізико-хімічні величини і поняття, що використовуються для розрахунку теплового балансу процесу. Фізична теплота речовини. Теплота хімічної реакції, розчинення, нейтралізації, згоряння, фазового переходу. Розрахунок матеріального та теплового балансу в системах із самочинним розділенням матеріальних потоків.

Величини, що характеризують ступінь проходження технологічного процесу. Розрахунок ступенів перетворення з використанням понять: кількість речовини (моль), об'ємно-молекулярна концентрація, молярна частка, об'ємна частка, парціальний тиск. Розрахунок ступеня перетворення в системах зі змінною кількістю молів.

Стехіометричний закон. Поняття глибини проходження реакції (міра реакції). Рівняння зв'язку між кількістю реагуючих компонентів вихідної сировини і продуктів реакції. Взаємозв'язок між ступенями перетворення вихідної сировини та продуктів реакції в стехіометричній та нестехіометричній суміші. Границі зміни значення ступеня перетворення компонентів реакції.

Термодинамічні умови проведення процесів ХТНР. Термодинамічний аналіз – перший етап створення нових та удосконалених діючих систем ХТНР. Реалізація умов ізольованої, закритої та відкритої термодинамічної системи в умовах промислового виробництва ХТНР. Обчислення термодинамічних величин при дефіциті довідкових даних. Порівняльні методи обчислення термодинамічних величин.

Умови термодинамічної та хімічної рівноваги. Константа рівноваги як кількісна характеристика глибини проходження технологічного процесу. Рівняння ізотерми хімічної реакції. Роль стандартної температури і стандартного тиску при обчисленні енергії Гіббса і константи хімічної рівноваги.

Рівноважний вихід цільового продукту як критерій досконалості технологічного процесу. Концентраційні умови проведення газофазних процесів ХТНР. Методи обчислення рівноважного виходу цільового продукту, які використовуються в практиці проектування та експлуатації процесів ХТНР. Вихідні дані для розрахунку рівноважного виходу. Вибір базового компоненту. Вибір типу концентрації для складання розрахункового рівняння. Визначення рівноважної концентрації реактантів та рівноважної суми концентрацій реактантів через базовий компонент. Узгодження одиниці стандартного тиску константи рівноваги з одиницею тиску в реакторі.

Методика складання розрахункових рівнянь з використанням поняття ступеня перетворення. Методика складання розрахункового рівняння з використанням поняття міри реакції. Матеріальний баланс атомів елементів – складових частин реактантів при здійсненні хімічного процесу.

Складання часткових матеріальних балансів атомів елементів в стані рівноваги хімічного процесу. Система рівнянь часткових матеріальних балансів атомів елементів і концентраційного виразу константи рівноваги. Умови рішення системи рівнянь (приклад). Методика складання розрахункового рівняння з використанням стехіометричного балансу кількості молів реактантів в стані рівноваги. Визначення рівноважного складу реакційної суміші в системах без і зі зміною кількості молів в ході процесу.

Складні послідовні та послідовно-паралельні оборотні (рівноважні) процеси в ХТНР. Принцип незалежності складних паралельних та послідовно-паралельних реакцій. Вихідні дані

для розрахунку складних оборотних процесів. Вибір базових рівнянь та базових компонентів для розрахунку рівноважної суміші реактантів складних процесів. Системи алгебраїчних рівнянь утворених за принципом незалежності складних оборотних процесів. Використання понять ступінь перетворення, міра реакції та стехіометричного балансу молів реактантів для складання системи розрахункових рівнянь складних оборотних процесів.

Використання часткових матеріальних балансів атомів елементів для складання системи розрахункових рівнянь складних оборотних процесів. Особливості розрахункових рівнянь для оборотних процесів за участю твердої фази.

Процеси ХТНР, які проводяться при високому тиску. Рівняння стану реальних газів і межі їх застосування в технологічних розрахунках. Використання рівнянь стану реальних газів для розрахунку властивостей суміші реальних газів. Закон відповідних станів і його застосування для розрахунку властивостей реальних газів. Приведені параметри газів. Критичні параметри газів. Псевдокритичні параметри суміші газів. Псевдоприведені параметри суміші газів. Коефіцієнт стисливості газів, ступінь стисливості газів і їх взаємозв'язок.

Термодинамічні властивості реальних газів і їх залежність від температури та тиску. Диференціальні рівняння термодинаміки, що використовуються для розрахунку властивостей реальних газів. Параметри технологічних процесів і незалежні змінні диференціальних рівнянь термодинаміки. Залежність ентальпії, ентропії, внутрішньої енергії, теплоємності реальних газів від тиску і температури. Взаємозв'язок ізобарної та ізохорної теплоємності реальних газів.

Дроселювання реальних газів. Диференціальний коефіцієнт дроселювання. Температура інверсії. Розрахунок зміни температури дроселювання реальних газів. Використання T-S, T-i, T-V діаграм для визначення коефіцієнтів дроселювання та температури інверсії. Ізоентропійне розширення реального газу. Коефіцієнт ізоентропійного розширення газу. Розрахунок зміни температури газу при ізоентропійному розширенні. Розрахунок значення термодинамічних функцій реальних газів методом інтегрування диференціальних рівнянь термодинаміки.

Процеси ХТНР, які здійснюються за участю водних розчинів, термодинамічне обґрунтування технологічних параметрів їх проведення. Поняття, які використовуються для складання розрахункових рівнянь, що кількісно описують характеристики процесів у розчинах. Вплив кислотності (активності іонів водню) на здійснення процесів у розчинах. Умова рівноваги (умова закону діючих мас) і використання її для складання розрахункових рівнянь. Умова матеріального балансу за іонами в розчині. Рівняння матеріального балансу за іонами водню в розчині.

Складання розрахункових рівнянь для обчислення концентрації іонно-молекулярних часток в розчині в разі самочинного устанавлення рівноваги в розчині. Рівноважні перетворення у водних розчинах при наявності твердої фази. Добуток розчинності (ДР) як кількісний фактор рівноваги в розчині в присутності твердої фази. Використання умов рівноваги, матеріального балансу за центральним атомом та іонами водню в складанні розрахункових рівнянь для обчислення розчинності твердої фази в умовах примусової та самочинно устанавленої рівноважної концентрації іонів водню в розчині. Умова електронейтральності в розчині і використання її для складання рівняння матеріального балансу за іонами водню.

Обчислення розчинності твердої фази в технологічних розчинах в присутності однойменних іонів. Сульфатний режим одержання ЕФК. Аналіз нейтралізаційно-осаджувальних методів переробки фосфатвмісної сировини. Рівноважні процеси за участю газової фази та водного розчину. Абсорбційна ємність поглинача при перебігу хімічної реакції в розчині.

#### **4. Рекомендована тематика практичних занять**

Основні завдання циклу практичних занять з дисципліни ” Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин ” є закріплення теоретичних знань, що набуті на лекціях та при самостійній роботі, для вирішення конкретних практичних завдань та прикладів з фахового напрямку. Для цього на практичних заняттях детально вивчаються розрахунки фізико-хімічних властивостей компонентів сировини, готового продукту при різних температурах та тисках;

обґрунтування та розрахунки значень технологічних параметрів; обчислення оптимальних режимів проведення процесів

Приблизна тематика практичних занять:. Стехіометричні розрахунки. Взаємозв'язок ступенів перетворення та кількості сировини і продуктів за стехіометричними рівняннями.

Розрахунок рівноважного виходу продукту газофазної реакції з використанням понять ступінь перетворення та міра реакції.

Розрахунок рівноважного виходу продукту газофазної реакції з використанням методів балансу кількості атомів елементів і балансу кількості молів речовини.

Розрахунок рівноважного виходу продукту газо фазної реакції з використанням методу балансу кількості атомів елементів речовин-компонентів реакції.

Розрахунок рівноважного виходу продукту газофазної реакції з використанням методу балансу кількості молів речовини.

Обчислення ентальпії газових компонентів сировини і продуктів хіміко-технологічного процесу при зміні температури і тиску реального газу.

Обчислення ентропії газових компонентів сировини і продуктів хіміко-технологічного процесу при зміні температури і тиску реального газу.

Розрахунок внутрішньої енергії газових компонентів сировини і продуктів хіміко-технологічного процесу при зміні температури і тиску реального газу.

Обчислення теплоємності газових компонентів сировини і продуктів хіміко-технологічного процесу при зміні температури і тиску реального газу.

Обчислення значення константи рівноваги газо фазного ХТП за участю реального газу.

Розрахунок зміни температури при дроселюванні реального газу.

Розрахунок зміни температури при ізоентропійному розширенні ідеального та реального газу.

Обчислення іонного складу технологічного розчину у випадку примусового і контролюемого установлення кислотності технологічного розчину.

Розрахунок іонного складу технологічного розчину при самочинному установленні рівноваги в розчині.

Розрахунок іонного складу технологічного розчину у випадку примусового і контрольованого установленні кислотності технологічної системи в присутності твердої фази.

Розрахунок іонного складу технологічного розчину при самочинному установленні рівноваги технологічної системи в присутності твердої фази.

Обчислення іонного складу технологічної системи при розчиненні твердого компоненту в розчині з одноіменним катіоном або аніоном при встановленні і контрольованій кислотності розчину.

Обчислення іонного складу технологічної системи при розчиненні твердого компоненту в розчині з одноіменним катіоном або аніоном при самочинному встановленні рівноваги.

## **5. Рекомендований перелік лабораторних робіт (комп'ютерних практикумів)**

Згідно навчального плану лабораторних занять (комп'ютерного практикуму) з дисципліни ” Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин ” не передбачено.

## **6. Рекомендовані індивідуальні завдання**

Тематика, завдання та вимоги до виконання розрахункової роботи детально описані в методичних вказівках.

## **7. Рекомендована література**

1. Астрелін І.М., Теорія процесів виробництв неорганічних речовин / Запольський А.К., Супрунчук В.І. і ін.[Текст]- К.: Вища школа, 1992.-399с.

2. Лобойко О.Я. Теоретичні основи технології неорганічних виробництв/Гринь Г.І., Товажнянський Л.Л. [Текст]-Харків:Видавництво «Підручник НТУ «ХПІ»», 2017.-152с.
3. Позин М.Е., Зинюк Р.Ю. Физико-химические основы неорганической технологии .[Текст] .- Санкт-Петербург:Химия, 1993.-440 с.
  - 1 Жоров Ю.М. Термодинамика химических процессов. .[Текст]-М.:Химия,1985.- 464 с.
  - 2 Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика. .[Текст]- М.:Химия,1975. - 584 с.
  - 3 Киреев В.А. Методы химических расчетов в термодинамике химических реакций [Текст] М.:Химия,1977.-360 с.
  - 4 Викторов М.М. Методы вычисления физико-химических величин и прикладные расчеты. [Текст]Л.:Химия,1977. – 360 с.
  - 5 Батлер Дж.Н. Ионные равновесия. Математическое описание [Текст] – Л.:Химия,1973. -448 с.
  - 6 Мухленов И.П. Расчеты химико-технологических процессов./под ред. И.П. Мухленова. [Текст] – Л.:Химия,1982. – 248 с.
  - 7 Методические указания к проведению самостоятельной работы по курсу „Теоретические основы ХТНВ”./сост. Супрунчук В.И. .[Текст]-К.:КПИ,1990.-59 с.

### **8. Засоби діагностики успішності навчання**

В якості засобів діагностики успішності навчання студентів з дисципліни ”Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин” рекомендуються комплексні або ситуаційні завдання.

### **9. Методичні рекомендації**

Враховуючи обсяг дисципліни ( 6 кредитів ECTS) рекомендована кількість кредитних модулів – один, кредитній модуль ”Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин”.

Для студентів денної і заочної форми навчання рекомендована кількість кредитів ECTS 6 і навчальних годин 180 години. При вивченні дисципліни «Теоретичні основи хімічної технології неорганічних речовин» для студентів напряму 6.051301 – хімічна технологія майбутньої спеціальності «Хімічні технології неорганічних речовин» слід акцентувати увагу на важливості і необхідності знань і вмінь для: розрахунків фізико-хімічних властивостей компонентів сировини, готового продукту при різних температурах та тисках; обґрунтуванні та розрахунках значень технологічних параметрів; обчисленні оптимальних режимів проведення процесів в умовах, наближених до ситуацій в реальному технологічному процесі.