



## Технологія зв'язаного азоту

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>16 Хімічна та біоінженерія</i>
Спеціальність	<i>161 Хімічні технології та інженерія</i>
Освітня програма	<i>Освітньо-професійна програма <b>Хімічні технології та інженерія</b></i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4,5 кредитів</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	<i>Лекція 5 годин на 1 тиждень (2,5 пари), практикум 2 години на 1 тиждень (1 пара) за розкладом на rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н., доцент Концевой Андрій Леонідович <a href="mailto:kontsev@xtf.kpi.ua">kontsev@xtf.kpi.ua</a> ; <a href="mailto:kontsev157@gmail.com">kontsev157@gmail.com</a></i> Практикум: <i>к.т.н., доцент Концевой Андрій Леонідович <a href="mailto:kontsev@xtf.kpi.ua">kontsev@xtf.kpi.ua</a> <a href="mailto:kontsev157@gmail.com">kontsev157@gmail.com</a></i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom (Google G Suite for Education, домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); доступ за запрошенням викладача</i>

#### Програма навчальної дисципліни

##### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Дисципліна "Технологія зв'язаного азоту" (ТЗА) займає важливе місце у формуванні світогляду сучасного фахівця з технології неорганічних речовин. Поглибленню якості підготовки фахівців сприяє творче поєднання лекційного матеріалу, завдань практикуму і самостійної роботи студента. Виконання програми дисципліни передбачає:

- набуття студентом теоретичних, загально-інженерних і спеціальних знань;
- надбання вмінь пошуку і використання навчальної, наукової і довідкової літератури з сучасних технологій;
- використання персональних комп'ютерів для виконання розрахунків практикуму.

**Предмет дисципліни:** *Технологія виробництва сполук азоту*

**Метою дисципліни є формування у студентів здатностей:**

ЗК3 Здатність генерувати нові ідеї й нестандартні підходи до їх реалізації (креативність)

ЗК5 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

ЗК9 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями

ФК1. Знання та розуміння теоретичних основ хімічної технології неорганічних речовин та водоочищення

ФК2. Здатність до використання сучасних інформаційних ресурсів для досліджень неорганічних речовин

ФК3. Здатність до критичного осмислення основних теорій, методів та принципів виробництва неорганічних речовин та водоочищення

ФК10. Здатність проектувати та реалізовувати технології виробництва неорганічних речовин та водоочищення

ФК19. Здатність використовувати базові уявлення про основні закономірності розвитку й сучасні досягнення в хімічних технологіях, розуміти роль енергозбереження в сучасних технологіях неорганічних речовин та водоочищення

ФК27 Здатність ідентифікувати, аналізувати і з науково-обґрунтованою аргументацією планувати стратегію вирішення хіміко-технологічних проблем і задач виробництва неорганічної продукції і водоочищення

*Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:*

**знання:**

- ЗН 13 фізичної сутності явищ, що відбуваються в технічних об'єктах
- ЗН 15 відомих технологій отримання хімічної продукції
- ЗН 25 фізико-хімічних властивостей матеріалів в умовах науково-дослідної або проектної установи, виробництва для технічного завдання, технологічного регламенту
- ЗН 32 сучасних тенденцій прогресу в технологіях неорганічних речовин для хімічної галузі та біоінженерії, в тому числі, у фармацевтичній промисловості; традиційних та спеціальних методів одержання наноматеріалів та сучасних нанотехнологій

**уміння:**

- УМ 8 застосовувати знання фундаментальних дисциплін для розв'язку професійних задач
- УМ 21 здійснювати технологічні розрахунки обладнання, споруд та технологічних схем
- УМ 23 використовувати довідкові дані про властивості матеріалів при обґрунтуванні технологічної схеми виробництва базової хімічної продукції, обирати тип хімічних реакторів для здійснення хімічних процесів, визначати їх головні конструктивні параметри, розраховувати параметри технологічних режимів для технічного завдання.
- УМ 25 призначати типове обладнання та будувати функціональні схем технологічних процесів
- УМ 36 складати енергетичний та матеріальний баланс апарату і схеми
- УМ 38 усвідомлювати відповідальність за ефективність та наслідки реалізації комплексних заходів в технології неорганічних речовин
- УМ 40 розраховувати і вибирати сучасне обладнання технологічних процесів галузі.

**досвід:**

- *аналізу технічної інформації і виконання технологічних розрахунків за тематикою практикуму;*
- *обґрунтування фізико-хімічних засад, технологічних схем і режимів виробництва ТЗА;*
- *реалізації розрахунків в середовищі Excel.*

**2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Навчальний матеріал з ТЗА базується на знаннях і вміннях, отриманих студентами при вивченні дисциплін загальної підготовки «Загальна та неорганічна хімія», «Процеси і апарати

хімічних виробництв», «Загальна хімічна технологія», «Фізична хімія»; дисциплін професійної підготовки «Прикладна хімія», «Теоретичні основи технології неорганічних речовин».

*Дисципліни, які базуються на результатах навчання:* виконання курсової роботи, виконання і захист бакалаврського дипломного проекту та складання вступних екзаменів здобувачів освітнього ступеня «Магістр» за ОНП або ОПП «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення»».

Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Методи фіксації атмосферного азоту

Тема 2. Виробництво азоту кріогенним методом

Тема 3. Виробництво азотно-водневої суміші конверсійним методом

Тема 4. Синтез аміаку

Тема 5. Виробництво азотної кислоти

Тема 6. Виробництво метанолу

Тема 7. Виробництво водню

Тема 8. Синтез азотних добрив

### 3. Навчальні матеріали та ресурси

*Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці університету та у бібліотеці кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології (електронні версії). Навчальні посібники [1-5] надано для студентів у класрумі і електронному кампусі, легкий доступ до нього – на комп'ютерах в лабораторії 157-4. 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. Технологія зв'язаного азоту: технологія та алгоритми розрахунків виробництва азоту, кисню і водню. [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: 5,55 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 196 с.
2. Технологія зв'язаного азоту і хімічних добрив: технологія та алгоритми розрахунків виробництва технологічного газу. [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: 8,41 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 223 с.
3. Технологія зв'язаного азоту і хімічних добрив: технологія і алгоритми розрахунків виробництва нітратної кислоти. Навч. посіб. для студ. спец. 161 Хімічні технології та інженерія / Уклад.: А.Л. Концевой. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 218 с.
4. Технологія зв'язаного азоту і хімічних добрив: технологія та алгоритми розрахунків виробництва азотних добрив. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / А.Л. Концевой ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 21,46 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 221 с.
5. Технологія зв'язаного азоту і хімічних добрив: Практикум. Курсова 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: 1,45 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 86 с.

6. Технологія зв'язаного азоту. Підручник /Л. Л.Товажнянський, О.Я Лобойко та ін. – Харків: НТУ “ХП”, 2007. – 536 с.
7. Технологія зв'язаного азоту: технологія та алгоритми розрахунків виробництва аміаку і метанолу. [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: 5,55 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 211 с.

### Додаткова

8. Янковський М.А. Технологія аміаку. Навчальний посібник / М.А. Янковський, І.М. Демиденко, Б.І. Мельников, О.Я. Лобойко, Г.М. Корона. Дніпропетровськ, УДХТУ, 2004. – 300 с.
9. Вакк Э.Г. Производство технологического газа для производства аммиака, метанола, водорода и высших углеводородов. Теоретические основы, технология, катализаторы, оборудование, системы управления. Учебное пособие / Э.Г. Вакк, Г.В. Шуклин, И.Л. Лейтес. – М., 2011 – 480 с.
10. Аммиак. Вопросы технологии. Учебное пособие /под общ. ред. Н.А. Янковского. Горловка. ОАО «Концерн Стирол». – 2001. – 497 с.
11. Жаворонков Н. М. Справочник азотчика: В 2 ч. / Под ред. Н. М. Жаворонкова. - М.: Химия, 1986. – Ч. 1. – 512 с.
12. Жаворонков Н. М. Справочник азотчика: В 2 ч. / Под ред. Н. М. Жаворонкова. - М.: Химия, 1987.- Ч.2. – 464 с.

### Інформаційні ресурси

1. Дистанційний курс *Google G Suite for Education*. Режим доступу: *Google Classroom (Google G Suite for Education, домен LLL.kpi.ua, платформа Sikorsky-distance); код класу hiezmlm*.

## Навчальний контент

### 4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

Вичитування лекцій з дисципліни проводиться паралельно з виконанням студентами робіт практикуму та розглядом ними питань, що виносяться на самостійну роботу. При читанні лекцій застосовуються засоби для відеоконференцій (*Google Meet, Zoom тощо*) та ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені на платформі *Sikorsky-distance*. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої.

№	Тиждень	Опис заняття
1	1 тиждень навчання	<p><b>Тема 1. Методи фіксації атмосферного азоту</b></p> <p>Роль азоту і його сполук у житті рослинного і тваринного світу. Властивості азоту, його застосування і сполуки. Історія і перспективи розвитку азотної промисловості. Структура ПО «Азот». Методи фіксації атмосферного азоту. Реальні гази. Т – S діаграма і зображення на ній основних процесів.</p> <p>СРС: Валентність і ступінь окиснення азоту в його сполуках.</p> <p>Література: 1, 6</p>
2	1 тиждень навчання	<p><b>Тема 2. Виробництво азоту кріогенним методом</b></p>

		<p>Методи одержання низьких температур. Ам'ячна холодильна установка. Тепловий баланс випарника.</p> <p>СРС: Т – S діаграма для ам'яку – інтервали температури і тиску рідини.</p> <p>Література: 1, 6</p>
3	1 тиждень навчання	<p>Цикли криогенних установок Лінде і Капіці. Визначення частки зрідженого газу, холодопродуктивності і ККД циклу.</p> <p>СРС: Т – S діаграма для кисню, азоту і повітря – інтервали температури і тиску рідини.</p> <p>Література: 1, 6</p>
4	2 тиждень навчання	<p>Розділення повітря. Типи установок для розділення повітря. Конструкції ректифікаційних колон і конденсатора. Технологічна схема розділення повітря.</p> <p>СРС: принципи побудови рівноважної і робочої ліній ректифікації повітря.</p> <p>Література: 1, 6</p>
5	2 тиждень навчання	<p><b>Тема 3. Виробництво азотно-водневої суміші конверсійним методом</b></p> <p>Методи очищення природного газу від сполук сірки. Гідрування органічних сполук сірки. Адсорбційне очищення від сірководню. Каталізатори і адсорбенти. Конструкція реакторів. Методи конверсії природного газу. Обґрунтування двоступеневої конверсії природного газу. Конверсія природного газу парою</p> <p>СРС: Методика термодинамічного розрахунку парової конверсії метану.</p> <p>Література: 2, 6, 9</p>
6	3 тиждень навчання	<p>Пароповітряна конверсія метану. Фізико-хімічні основи. Термодинаміка, каталізатори, кінетика. Технологічна схема і апарати двоступеневої конверсії природного газу</p> <p>СРС: парокисневоповітряна конверсія природного газу, область застосування і перспективи використання.</p> <p>Література: 2, 6, 9</p> <p>Конверсія оксиду вуглецю (II) парою. Фізико-хімічні основи конверсії оксиду вуглецю (II) парою. Термодинаміка, каталізатори, кінетика. Технологія конверсії</p> <p>СРС: Радіальні і поличні конвертори оксиду вуглецю (II).</p> <p>Література: 2, 6, 9</p>
7	3 тиждень навчання	<p>Очищення конвертованого газу від оксидів вуглецю. Технологія очистки газу оксиду вуглецю (IV) гарячим розчином поташу та моноетаноламіну.</p> <p>СРС: Порівняльний аналіз абсорбційних методів очищення від оксидів карбону. Очищення розчином метилдіетаноламіну.</p> <p>Література: 2, 6, 9</p>
8	3 тиждень навчання	<p><b>Тема 4. Синтез ам'яку</b></p> <p>Технологія тонкого очищення газу від оксидів вуглецю методом каталітичного гідрування (метанування). Термодинаміка,</p>

		<p>катализатори, кінетика. Технологія очищення. Конструкція метанатору.</p> <p>Фізико-хімічні основи синтезу аміаку. Термодинаміка, катализатори, кінетика синтезу. Конденсація аміаку: необхідність двох ступіней, вплив технологічних параметрів на ступінь конденсації.</p> <p>СРС: Технологічні схеми синтезу різної продуктивності</p> <p>Література: 2, 6, 7, 10</p>
9	4 тиждень навчання	<p>Технологія синтезу аміаку. Вибір параметрів. Регламент синтезу аміаку.</p> <p>Конструкції колон синтезу. Організація температурного режиму. Розрахунок об'єму катализатора</p> <p>СРС: Конструкції колон синтезу аміаку та їх порівняння.</p> <p>Література: 2, 6, 7, 10</p>
10	4 тиждень навчання	<p>Допоміжне устаткування агрегатів синтезу аміаку. Виробництво водню мембранним розділенням продувального газу.</p> <p>СРС: огляд промислових мембран за даними мережі Інтернет.</p> <p>Література: 2, 7, 8, 10</p>
11	5 тиждень навчання	<p><b>Тема 5. Виробництво азотної кислоти</b></p> <p>Стадії виробництва азотної кислоти. Хімічна схема виробництва неконцентрованої азотної кислоти. Фізико-хімічні основи і технологія контактного окиснення аміаку.</p> <p>СРС: Особливості розрахунку процесу в зовнішньо-дифузійній області.</p> <p>Література: 3, 6, 12</p>
12	5 тиждень навчання	<p>Фізико-хімічні основи і технологія окиснення оксиду азоту (II). Особливості процесу, кінетичне рівняння. Обладнання. Технологія переробки оксидів азоту на неконцентровану азотну кислоту. Процеси і апарати, основні і допоміжні.</p> <p>СРС: Аналітичне інтегрування кінетичного рівняння Боденштейна.</p> <p>Література: 3, 6, 12</p>
13	5 тиждень навчання	<p>Технологія очищення викидних газів: високо- і низькотемпературна каталітична схема очищення. Технологічна схема виробництва азотної кислоти під єдиним тиском 0,73 МПа та комбінованої за тиском схеми АК-72. Устаткування схем. Конструкції контактної апарату, абсорбційної колони, реактора очищення викидних газів.</p> <p>СРС: використання енергії викидного газу: розрахунок потужності газової турбіни.</p> <p>Література: 3, 6, 12</p>
14	6 тиждень навчання	<p><b>Тема 6. Виробництво метанолу</b></p> <p>Технологія приготування синтез-газу для синтезу метанолу: паро вуглекислотна конверсія метану. Реакції, термодинаміка, катализатори, кінетика. Реакторна база.</p>

		<p>СРС: Порівняння режимів та економічних показників схем двоступеневої конверсії природного газу і паро вуглекислотної конверсії.</p> <p>Література: 6, 7</p>
15	6 тиждень навчання	<p>Фізико-хімічні основи синтезу метанолу. Термодинаміка, каталізatori, кінетика синтезу метанолу.</p> <p>Конструкція реакторів синтезу метанолу. Організація теплообміну. Технологічна схема під середнім тиском. Допоміжне устаткування синтезу метанолу.</p> <p>СРС: Порівняння режимів та економічних показників схем синтезу метанолу під високим і середнім тиском.</p> <p>Література: 6, 7</p>
16	7 тиждень навчання	<p><b>Тема 7. Виробництво водню</b></p> <p>Високотемпературна некаталітична конверсія метану. Термодинаміка процесу. Вірогідність виділення карбону. Технологічна схема.</p> <p>СРС: термодинамічний аналіз виділення карбону при піролізі гомологів метану.</p> <p>Література: 1, 6, 11</p>
17	7 тиждень навчання	<p>Газифікація твердого палива. Термодинаміка процесу. Методи газифікації і розрахунку складу генераторного газу. Технологічні схеми. Основна апаратура.</p> <p>СРС: термодинамічний аналіз виділення карбону при газифікації вугілля.</p> <p>Література: 1, 6, 11</p>
18	7 тиждень навчання	<p>Виробництво водню електролізом води. Теоретичні основи і конструкція електролізерів. Питомі витрати електроенергії на виробництво 1 м<sup>3</sup> водню. Порівняння з конверсійними методами.</p> <p>СРС: методи зниження споживання електроенергії при електролізі.</p> <p>Література: 1, 6</p>
19	8 тиждень навчання	<p><b>Тема 8. Синтез азотних добрив</b></p> <p>Фізико-хімічне обґрунтування апаратурного оформлення і технологічної схеми виробництва аміачної селітри. Злежуваність селітри і методи її усунення. Особливості зберігання і транспортування аміачної селітри. Особливості розрахунків матеріальних і теплових балансів цього виробництва.</p> <p>СРС: рішення екологічних проблем у виробництві селітри.</p> <p>Література: 4, 6, 12</p>

20	8 тиждень навчання	<p>Фізико-хімічне обґрунтування апаратурного оформлення і технологічної схеми виробництва карбаміду. Стріпінг-процес. Основне обладнання. Особливості розрахунків матеріальних і теплових балансів цього виробництва. Вимоги до якості карбаміду, зберігання карбаміду.</p> <p>СРС: машини для стискання двооксиду вуглецю та аміаку.</p> <p>Література: 4, 6, 12</p>
21	9 тиждень навчання	<p>Виробництво карбаміду за методом подвійної ректифікації. Порівняння зі стріпінг-процесом. Недоліки і переваги. Організація рідинного рециркулу.</p> <p>СРС: склад і призначення КАС – карбамідно-аміачної суміші. Переваги цього добрива.</p> <p>Література: 4, 6, 12</p>
22	9 тиждень навчання	<p>Фізико-хімічне обґрунтування апаратурного оформлення і технологічної схеми виробництва аміачної води. Способи отримання аміачної води. Принцип розрахунку абсорберу.</p> <p>Література: 4</p> <p>СРС: перспективи використання рідких азотних добрив (зокрема, карбамідно-аміачна суміш КАС) за даними Інтернет-джерел.</p>
23	9 тиждень навчання	<p>Заключна година. Аналіз викладеного матеріалу. Акцентування на питаннях, що виносяться на екзамен. Порядок проведення письмового екзамену.</p>

### Практикум

Метою практичних занять є опанування і закріплення на практиці вмінь та досвіду, отриманих в процесі вивчення дисципліни, а саме використання методів розрахунку матеріального і теплового балансів та конструктивних розрахунків. Реалізацію наступних тем пропонується виконати кожним студентом на персональному комп'ютері шляхом створення відповідних програмних файлів з застосуванням програмного середовища MS Excel. Порядок виконання завдань практикуму надано у кафедральному навчальному посібнику [5].

<i>Тиждень</i>	<i>Тема</i>	<i>Опис запланованої роботи</i>
<b>Тема 1. Методи фіксації атмосферного азоту</b>		
1	Матеріальний і тепловий розрахунок спалювання природного газу. Термодинамічний розрахунок реакції азоту з киснем.	Відповідно до отриманого індивідуального завдання розрахувати в середовищі Excel матеріальний і тепловий баланси. Виконати термодинамічний розрахунок. Продемонструвати розрахунки і роботу програми викладачу.
2	Розрахунки параметрів повітря, азоту і кисню за S-T діаграмами. Розрахунок аміачної холодильної установки.	Відповідно до отриманого індивідуального завдання розрахувати в середовищі Excel параметри газів. Продемонструвати розрахунки і роботу програми викладачу.
<b>Тема 2. Виробництво азоту кріогенним методом</b>		



3	Термодинамічні розрахунки циклів Лінде та Капіці. Матеріальний і конструктивний розрахунки нижньої колони розділення повітря.	Відповідно до отриманого індивідуального завдання розрахувати в середовищі Excel частку зрідженого повітря, холодопродуктивність і ккд циклу. Виконати кінетичний розрахунок ректифікаційної колони. Продемонструвати розрахунки і роботу програми викладачу.
<b>Тема 3. Виробництво азотно-водневої суміші конверсійним методом</b>		
4	Матеріальні і теплові розрахунки двоступеневої конверсії метану і оксиду карбону (II) парою.	Відповідно до отриманого індивідуального завдання розрахувати в середовищі Excel матеріальний і тепловий баланси. Продемонструвати розрахунки і роботу програми викладачу.
5	<i>Абсорбційні методи очищення технологічного газу – варіант 1</i> Розрахунок очищення технологічного газу від двооксиду карбону гарячим розчином поташу. <i>Абсорбційні методи очищення технологічного газу – варіант 2</i> Розрахунок очищення технологічного газу від двооксиду карбону розчином моноетаноламіну.	Відповідно до отриманого індивідуального завдання розрахувати матеріальний баланс по газовій і рідкій фазам. Продемонструвати розрахунки і роботу програми викладачу.
<b>Тема 4. Синтез аміаку</b>		
6	Розрахунок матеріального і теплового балансу синтезу аміаку.	Відповідно до отриманого індивідуального завдання провести розрахунок витратних коефіцієнтів та температури на виході колони синтезу. Продемонструвати розрахунки і роботу програми викладачу.
<b>Тема 5. Виробництво азотної кислоти</b>		
7	Матеріальний і тепловий розрахунок окиснення аміаку і оксиду азоту.	Відповідно до отриманого індивідуального завдання розрахувати витратні коефіцієнти та температури на виході конвертору. Продемонструвати розрахунки і роботу програми викладачу.
8	Розрахунок кислотоутворення в холодильнику- конденсаторі.	Відповідно до отриманого індивідуального завдання виконати розрахунок кількості кислого конденсату і його концентрації. Продемонструвати розрахунки і роботу програми викладачу.

9	Розрахунок низькотемпературного каталітичного очищення викидного газу від оксидів азоту	Відповідно до отриманого індивідуального завдання виконати розрахунок матеріального і теплового балансів реактору очищення (дефіксації азоту). Продемонструвати розрахунки і роботу програми викладачу.
---	---	---

## 5. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента (СРС) в кількості 72 годин протягом семестру (9 тижнів) включає повторення лекційного матеріалу, складання попередніх варіантів програм для проведення розрахунків на заняттях, підготовка до МКР і екзамену. Рекомендована кількість годин, яка відводиться на підготовку до зазначених видів робіт:

Вид СРС	Кількість годин на підготовку
Підготовка до аудиторних занять: повторення лекційного матеріалу, складання попередніх варіантів програм для проведення розрахунків на заняттях	4 години на тиждень, разом 36 годин
Підготовка до МКР (4 етапи)	6 годин
Підготовка до екзамену	30 годин

## Політика та контроль

### 6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

У звичайному режимі роботи університету лекції та практикуми проводяться в навчальних аудиторіях. У змішаному режимі лекційні заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський, практикуми – шляхом виконання завдань на домашньому комп'ютері. У дистанційному режимі всі заняття проводяться через платформу дистанційного навчання Сікорський. Відвідування лекцій та практикумів є обов'язковим.

На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої лекції із застосуванням інтерактивних засобів, наприклад, Google Forms. Перед початком чергової теми лектор може надсилати питання із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів:

1. Несвоєчасне виконання практикуму без поважної причини штрафуються 1 балом;
2. За виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни нараховується від 1 до 3 заохочувальних балів;
3. За активну роботу на лекції нараховується до 0,5 заохочувальних балів (але не більше 10 балів на семестр).

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.

## 7. 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, виконання практикумів.
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
3. Семестровий контроль: екзамен.

### **Рейтингова система оцінювання результатів навчання**

1. **Рейтинг студента з дисципліни розраховується виходячи із 100-бальної шкали. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:**

- 1) Виконання та захист завдань (розрахунків) на 9 практичних заняттях;
- 2) Аналітичні огляди з тем, що передано на самостійне вивчення;
- 3) Одну модульну контрольну роботу;
- 4) Письмову відповідь під час екзамену.

2. **Критерії нарахування балів:**

#### **2.1 Робота на практичних заняттях:**

Ваговий бал – 3. Максимальна кількість балів на усіх практичних заняттях дорівнює:

3 балів  $\times$  9 = 27 балів.

#### **Критерії оцінювання:**

3 бали: безпомилкове виконання та оформлення завдання (розрахунку) *під час поточного заняття*;

2 бала: вірне в цілому рішення з незначними недоліками в оформленні, або похибками окремих елементів розрахунку, здача роботи під час наступного заняття;

1 бал: виконання вірного розрахунку після навідної допомоги викладача або проведення розрахунку зі значущими помилками, які підлягають виправленню; здача роботи під час наступного заняття;

0 балів: відсутність на занятті без поважних причин.

#### **2.2 Аналітичний огляд з тем, що передано на самостійне вивчення або додаткова робота обчислювального характеру**

Кількість завдань цього виду: 1.

Ваговий бал – 3.

#### **Критерії оцінювання:**

3 бали: повне розкриття теми без будь-яких зауважень при бездоганному оформленні огляду і при умові добровільного розширення рамок матеріалу, що викладено (поза межами завдання) при наявності елементів продуктивного (творчого) підходу до тематики;

2 бали: повне розкриття теми без зауважень або з незначними зауваженнями при бездоганному оформленні огляду;

1 бала: достатньо повне розкриття теми при наявності чисельних зауважень непринципового характеру при грамотному викладанні матеріалу і при достатньо охайному оформленні огляду;

0 балів: робота не виконана або списана.

#### **2.3 Модульна контрольна робота (МКР)**

Ваговий бал – 20. Робота виконується в 4 етапи з рейтинговим балом кожного етапу, що дорівнює 5.

### **Критерії оцінювання МКР:**

- 5 балів:** безпомилкова відповідь на всі питання при наявності елементів продуктивного творчого підходу; демонстрація вміння впевненого застосування фундаментальних і фахових знань;
- 4 бали:** недостатньо повна відповідь на всі питання або безпомилкова відповідь на 80% питань;
- 3 бали:** безпомилкова відповідь на 50% питань або неповна відповідь на всі питання з двома – трьома досить суттєвими помилками;
- 2 бал:** неповна відповідь на всі питання або безпомилкова відповідь не менше 30 % питань; наявність принципових помилок;
- 1 бал:** неповна відповідь на частину питань; наявність принципових помилок;
- 0 балів:** відсутність на занятті без поважних причин, списування (плагіат) під час контрольної або відмова від виконання контрольної роботи.

### **Розрахунок шкали семестрової рейтингової оцінки з кредитного модуля (R<sub>c</sub>):**

Сума вагових балів контрольних заходів (R<sub>c</sub>) протягом семестру складає:

$$R_c = 27 + 3 + 20 = 50.$$

Екзаменаційна складова рейтингу:  $R_e = 100 - R_c = 50$ .

*3. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю є виконання всіх запланованих на цей час робіт (на час календарного контролю). На першому календарному контролі (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше  $0,5 \cdot 50^1 = 25$  балів.*

*4. Максимальна сума балів, яку студент може набрати протягом семестру, складає 50 балів:*

$$R_c = r_{пр} + r_a + r_{МКР} = 27 + 3 + 20 = 50 \text{ балів}$$

Необхідними умовами допуску до екзамену є зарахування всіх етапів контрольної роботи, всіх практичних занять, а також стартовий рейтинг ( $r_c$ ) не менше 60 % від R<sub>c</sub>, себто:

$$r_c = 0,6R_c = 0,6 \times 50 = 30 \text{ балів.}$$

### **2.4 Письмова відповідь під час екзамену**

Ваговий бал – 50. Екзаменаційний білет містить 4 запитання, письмова відповідь на кожне з яких оцінюється за наступною системою.

- 5 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;
- 4 бали:** достатньо повна і взагалі вірна відповідь з 80% розкриттям питання, відповідь ґрунтується тільки на матеріалах конспекту;
- 3 бали:** 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;
- 2 бали:** неповна відповідь з 30 % розкриттям питання; наявність принципових помилок;

<sup>1</sup> Максимальна кількість балів, яку може набрати студент протягом 8 тижнів.

1 бал: неповна відповідь з 20 % розкриттям питання; наявність великої кількості суттєвих і принципів помилок;

0 балів: відсутність відповіді, відсутність на іспиті без поважних причин або відмова від участі в іспиті.

Сума балів на 4 запитання (максимум 20) -  $\Sigma$ . Екзаменаційна складова:  $Re = 50/20 \cdot \Sigma = 2,5 \cdot \Sigma$ .

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

$RD = r_{сз} + r_{кр}$ або $RD = R_C$	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
$RD < 60$ або списування (плагіат) під час залікової контрольної роботи	Не допущений

## 8 Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗНАТЬ

#### 1. Методи фіксації атмосферного азоту

Роль азоту і його сполук у житті рослинного і тваринного світу.

Властивості азоту, його застосування і сполуки. Історія і перспективи розвитку азотної промисловості. Сучасний стан виробництва сполук зв'язаного азоту в Україні. Структура ПО «Азот». Методи фіксації атмосферного азоту. Валентність і ступінь окиснення азоту в його сполуках.

#### 2. Виробництво азоту і кисню кріогенним методом

Методи концентрування газових сумішей. Методи одержання низьких температур. S-T діаграми і зображення на них процесів стиснення ізотермічного, адіабатичного і неадіабатичного, випаровування, конденсації, дроселювання, детандування, охолодження, нагрівання. Компресійні і абсорбційні холодильні цикли – принцип дії, схема і зображення на діаграмі S-T, розрахунок холодопродуктивності. Цикли кріогенних установок високого тиску Лінде і низького тиску Капіці – принцип дії, схема і зображення на діаграмі S-T. Визначення холодопродуктивності, частки зрідженого газу і ккд циклу.

Розділення повітря. Схеми принципова і технологічна установки для розділення повітря. Обґрунтування різних значень тиску в нижній і верхній ректифікаційних колонах при розділенні повітря. Конструкції ректифікаційних колон і конденсатора.

Принципи побудови рівноважної і робочої ліній ректифікації повітря. Розрахунок кількості тарілок ректифікаційної колони.

#### 3. Виробництво азотно-водневої суміші конверсійним методом

Методи очищення природного газу від сполук сірки. Гідрування органічних сполук сірки. Адсорбційне очищення від сірководню. Каталізatori і адсорбенти. Технологічна схема. Конструкції реакторів.

Методи конверсії природного газу. Обґрунтування двоступеневої каталітичної конверсії природного газу. Конверсія природного газу парою. Термодинаміка, кінетика і каталізatori

процесу. Пароповітряна конверсія метану. Фізико-хімічні основи. Термодинаміка, каталізатори, кінетика. Запобігання утворенню вуглецю. Технологічна схема і апарати двоступеневої конверсії природного газу. Конструкція реакційної труби. І шахтного конвертору. Компресорне обладнання.

Одноступеневі каталітичні конверсії метану: парокиснева, парокисневоповітряна, паровуглекислотна; область застосування і їх порівняння.

Конверсія оксиду вуглецю (II) паром. Фізико-хімічні основи конверсії оксиду вуглецю (II) паром. Термодинаміка, каталізатори СТК і НТК, кінетика. Технологічна схема двоступеневої конверсії. Елементи енерготехнології. Радіальні і поличні конвертори оксиду вуглецю (II), їх переваги і недоліки..

Очищення конвертованого газу від оксиду вуглецю (IV). Абсорбційні методи очищення технологічного газу від двооксиду вуглецю: переваги і недоліки. Фізична абсорбція: переваги і недоліки, розрахунок рушійної сили для прямого току і протитоку. Хімічна абсорбція: переваги і недоліки, розрахунок рушійної сили для прямого току і протитоку. Тарілчасті і насадкові абсорбери, переваги і недоліки. Ескізи конструкції. Технологія очищення газу від двооксиду вуглецю гарячим розчином поташу та моноетаноламіну, технологічні схеми очищення. Сучасний метод очищення активованим розчином метилдіетаноламіном. Порівняльний аналіз абсорбційних методів очищення від оксиду вуглецю (IV).

Технологія тонкого очищення газу від оксидів вуглецю методом каталітичного гідрування – необхідність, реакції. Термодинаміка, каталізатори, область протікання процесу, кінетика. Технологічна схема очищення, конструкція апарату. Графік залежності  $X=f(T)$ . Причини направлення газу на факельну установку («свічу»).

#### **4. Синтез аміаку**

Фізико-хімічні основи синтезу аміаку. Термодинаміка, каталізатори, кінетика синтезу. Конденсація аміаку: вплив технологічних параметрів на ступінь конденсації, необхідність двох ступіней. Вплив інертних газів на термодинаміку і кінетику синтезу. Вплив концентрації інертних газів на параметри процесу – витрати свіжого, продувного та циркуляційного газів. Принципова і технологічна схеми синтезу.

Конструкції колон синтезу. Воднева корозія та її попередження. Організація теплообміну (температурного режиму). Розрахунок об'єму каталізатора за об'ємною швидкістю.

Допоміжне устаткування агрегатів синтезу аміаку – конденсаційна колона і випарник, компресорне обладнання.

#### **5. Виробництво азотної кислоти**

Хімічна схема виробництва неконцентрованої азотної кислоти. Технологія контактного окиснення аміаку. Вплив співвідношення кисень до аміаку на параметри конверсії. Фізико-хімічні основи - термодинаміка, каталізатори, кінетика. Технологія окиснення оксиду азоту (II). Термодинаміка, кінетика. Особливість кінетики окиснення оксиду азоту (II) з точки зору впливу температури. Взаємні перетворення оксидів азоту. Димерізація двооксиду азоту.

Технологія переробки оксидів азоту на неконцентровану азотну кислоту. Фізико-хімічні основи. Термодинаміка: частинна константа рівноваги. Швидкість абсорбції, ккд тарілки абсорбційної колони. Ступінь окисненості нітрозного газу. Розрахунок рівноважних тисків оксидів азоту над розчином азотної кислоти. Розрахунок робочих тисків оксидів азоту над розчином азотної кислоти. Визначення ступеня переробки оксидів азоту в азотну кислоту. Розрахунок витратних коефіцієнтів за брутто реакціями перетворення оксидів азоту в азотну кислоту.

Технологія очищення викидних газів: високо- і низькотемпературна каталітична схема очищення.

Технологічна схема виробництва азотної кислоти під єдиним тиском 0,73 МПа та схеми АК-72 комбінованого тиску. Конструкції контактного апарату, холодильника-конденсатору, абсорбційної колони, реакторів очищення викидних газів. Використання енергії нітрозного і викидного газів: котли-утилізатори, теплообмінники і газова турбіна.

Література: 1, 2, 5, 6, 4д

Технологія прямого синтезу концентрованої азотної кислоти. Стадії процесу прямого синтезу. Отримання рідких оксидів азоту. Фізико-хімічні основи окремих стадій - термодинаміка, кінетика. Колона синтезу, вибілювальна колона.

### **6. Виробництво метанолу**

Фізико-хімічні основи синтезу метанолу. Термодинаміка, каталізатори, кінетика синтезу метанолу. Порівняння режимів та економічних показників схем синтезу метанолу під високим і середнім тиском. Вплив концентрації інертних газів на параметри процесу – витрати свіжого, продувного та циркуляційного газів. Конструкції колон синтезу метанолу. Організація теплообміну в реакторі. Технологічна схема під середнім тиском. Допоміжне устаткування синтезу метанолу.

### **7. Виробництво водню**

Виробництво водню електролізом води. Теоретичні основи і конструкція електролізерів. Методи зниження споживання електроенергії при електролізі.

Високотемпературна некаталітична конверсія природного газу. Термодинаміка процесу. Вірогідність виділення карбону. Технологічна схема.

Газифікація твердого палива. Перспективність процесу для України. Реакції газифікації твердого палива, склад генераторного газу в залежності від його призначення і складу суміші окиснювачів. Способи компенсації ендотермічних ефектів при газифікації.

### **8. Синтез азотних добрив**

Фізико-хімічне обґрунтування апаратурного оформлення і технологічної схеми виробництва нітрату амонію (аміачної селітри). Злежуваність селітри і методи її усунення. Особливості зберігання аміачної селітри. Конструкція і принцип дії апарату ВТН (використання теплоти нейтралізації) у виробництві нітрату амонію. Вплив концентрації азотної кислоти на концентрацію розчину селітри. Конструкції випарних апаратів. Можливість отримання селітри без упарювання. Рішення екологічних проблем у виробництві селітри.

Фізико-хімічне обґрунтування апаратурного оформлення і технологічної схеми виробництва карбаміду. Реакції синтезу карбаміду. Обґрунтування високого тиску. Схеми синтезу з рециклом повним і частковим – порівняння, недоліки і переваги. Конструкція і принцип дії колони синтезу карбаміду. Особливості стріпінг – процесу.

Способи отримання аміачної води. Фізико-хімічне обґрунтування апаратурного оформлення і технологічної схеми виробництва аміачної води з продувних і танкових газів. Опис схеми і основного обладнання. Розрахунок кількості тарілок абсорбційної колони.

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцентом кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології: к.т.н. доц. Концевой А.Л.

**Ухвалено** кафедрою технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології (протокол № 19 від 30.06.2021)<sup>1</sup>

**Погоджено** Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 23.06.2021 р.)

---

<sup>1</sup> Силабус спочатку погоджується метод. Комісією, а потім Ухвалюється кафедрою.