



Процеси та апарати хімічної технології. Частина 2. Гідромеханічні та масообмінні процеси і апарати хімічної технології

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	16 Хімічна та біоінженерія
Спеціальність	161 Хімічні технології та інженерія
Освітня програма	Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	денна (очна/дистанційна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4,5 кредити, 135 годин (36 годин – лекції; 18 годин – лабораторні; 81 годин – СРС)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен/модульна контрольна робота
Розклад занять	https://rozklad.kpi.ua/ https://ecampus.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., старший викладач Гайдай Сергій Сергійович ssgaidai@gmail.com Лабораторні: к.т.н., старший викладач Гайдай Сергій Сергійович ssgaidai@gmail.com
Розміщення курсу	https://ecampus.kpi.ua/

Програма навчальної дисципліни

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

Вивчення даної дисципліни дозволить студентам засвоїти фундаментальні поняття теорії перенесення однофазних та багатофазних дисперсних систем. Дозволить сформулювати уявлення щодо способів розділення газових і рідких систем у полі сил тяжіння, відцентрових сил та в електричному полі. Сприятиме розумінню залежності ефективності розділення дисперсних систем та енерговитрат на реалізацію цього процесу. Розуміння сутності ефективності вилучення із дисперсій частинок, менших 10 мкм. Розширити уявлення про процеси перемішування в рідких і сипких системах та освоїти методики визначення основних критеріїв оцінки якості (ефективності) та затрат енергії (інтенсивності). Ознайомить із основами теорії подрібнення та умовами реалізації таких процесів за умови виконання «Золотого правила подрібнення». Дозволить сформулювати уявлення щодо масообмінних процесів та розуміння щодо способів інтенсифікації у дифузійно-контрольованих систем. Оволодіння методиками розрахунку обладнання для гідромеханічних, механічних та масообмінних процесів дозволить створити професійну базову основу для успішного розроблення енергоефективного обладнання та мінімізувати його металоємність.

Предмет навчальної дисципліни

Системний підхід щодо вивчення процесів перенесення кількості руху в дисперсних системах із різним фазовим складом. Розрахунки витрат енергії при розділенні та перемішуванні неоднорідних систем, а також освоєння базових принципів подрібнення матеріалів та процесів масообміну.

Метою цієї навчальної дисципліни є ґрунтовне ознайомлення студентів із теоретичними засадами гідромеханічних та масообмінних процесів, визначення умов ефективного проведення процесів, засвоєння практичних навичок розрахунків гідромеханічних та масообмінних апаратів і машин із використанням комп'ютерних технологій.

Студенти після засвоєння дисципліни мають набувати таких компетентностей:

К 02 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

К 03 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

К 11 Здатність проектувати хімічні процеси з урахуванням технічних, законодавчих та екологічних обмежень.

К 12 Здатність використовувати сучасні матеріали, технології і конструкції апаратів в хімічній інженерії.

К 16 Здатність оформлювати технічну документацію, згідно з чинними вимогами.

К 17 Здатність застосовувати системи автоматизованого проектування для розробки конструкторської документації.

Програмні результати навчальної дисципліни:

ПР 02 Коректно використовувати у професійній діяльності термінологію та основні поняття хімії, хімічних технологій, процесів і обладнання виробництва хімічних речовин та матеріалів на їх основі.

ПР 03 Знати і розуміти механізми і кінетику хімічних процесів, ефективно використовувати їх при проектуванні і вдосконаленні технологічних процесів та апаратів хімічної промисловості.

ПР 05 Розробляти і реалізовувати проекти, що стосуються технологій та обладнання хімічних виробництв, беручи до уваги цілі, ресурси, наявні обмеження, соціальні та економічні аспекти та ризики.

ПР 06 Розуміти основні властивості конструкційних матеріалів, принципи та обмеження їх застосовування в хімічній інженерії.

ПР 07 Обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для вирішення складних задач хімічної інженерії, контролю та керування технологічних процесів хімічних виробництв.

ПР 08 Використовувати сучасні обчислювальну техніку, спеціалізоване програмне забезпечення та інформаційні технології для розв'язання складних задач і практичних проблем у галузі хімічної інженерії, зокрема, для розрахунків устаткування і процесів хімічних виробництв

ПР 14 Розробляти проектну документацію, враховуючи вимоги стандартів.

ПР 15 Обґрунтувати вибір технологічних схем виробництва на підставі раціонального використання сировини, енергії, одержання якісної продукції, досягнення високої продуктивності з одночасним рішенням екологічних питань, розраховувати матеріальні і теплові баланси процесів, на їх основі знаходити витрати сировини та енергоресурсів.

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

Пререквізити: Дисципліна «Процеси та апарати хімічної технології. Частина 2. Гідромеханічні та масообмінні процеси і апарати хімічної технології» ґрунтується на таких дисциплінах: «Процеси та апарати хімічної технології. Частина 1. Теплові процеси»; «Фізика.

Частина 1,2»; «Вища математика. Частина 1. Лінійна алгебра і аналітична геометрія. Диференціальне числення»; «Вища математика. Частина 2. Інтегральне числення і диференціальні рівняння».

Постреквізити: Після опанування навчальної дисципліни студенти зможуть використовувати знання з фундаментальних дисциплін та математичний апарат для реалізації професійно-профільованих знань і практичних навичок для вирішення завдань системного інжинірингу зі створення екологічних ефективних процесів та інноваційного обладнання для їх реалізації і будуть надійним підґрунтям вивчення освітніх компонент «Загальна хімічна технологія», «Контроль та керування ХТП» та «Дипломне проектування».

3. Зміст навчальної дисципліни

Лекційні заняття

Розділ 1. Гідромеханічні процеси

Розділ 2. Механічні процеси

Розділ 3. Основи теорії масообміну

Розділ 4. Масообмінні процеси

Лабораторні заняття

1. Дослідження процесу осадження в полі сил тяжіння.
2. Дослідження роботи фільтруючої центрифуги.
3. Дослідження роботи мішалки для перемішування рідин.
4. Дослідження гідродинаміки псевдозрідженого шару.
5. Дослідження роботи щоклової дробарки.
6. Дослідження роботи валкової дробарки.
7. Визначення гідравлічного опору насадкового абсорбера при різних режимах руху рідкої та газової фази.
8. Дослідження процесу десорбції.
9. Дослідження процесу ректифікації.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Монографія по псевдозрідженню. Корнієнко Я. М. Підвищення ефективності процесу одержання гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, О. В. Мартинюк // НТУУ «КПІ». – Київ: НТУУ «КПІ». – 2014. – 349 С. (<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/11943>)
2. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічної технології 1: підручник / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок, В. Л. Ракицький, Г. Л. Рябцев // К.: НТУУ «КПІ». – 2011. – Ч.1. – 300 С.
3. Корнієнко Я. М. Процеси та обладнання хімічної технології 2: Підручник / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок, В. Л. Ракицький, Г. Л. Рябцев // К.: НТУУ „КПІ“. – 2011. – Ч.2. – 416 С.
4. Корнієнко Я. М. Процес зневоднення композитних рідких систем в псевдозрідженому шарі із застосуванням механічного диспергатора / Я. М. Корнієнко, Д. С. Семененко, О. В. Мартинюк. С. С. Гайдай // НТУУ «КПІ». – Київ. – 2015. – 167 С.
5. Корнієнко Я. М. Процес одержання модифікованих гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, А. М. Любека, С. С. Гайдай // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2017. – 210 С.
6. Корнієнко Я. М. Процеси гранулоутворення мінерально-гумінових добрив / Я. М. Корнієнко, Р. В. Сачок // Електронне видання. – 2014 р. – 158 С.

Додаткова література

7. Товажнянський Л. Л. Процеси та апарати хімічної технології / Л. Л. Товажнянський, А. Л. Готлінська, В. О. Нечипоренко. І. С. Чернишов // Харків, НТУ. – 2006. – Ч.1. – 540 С.
8. Товажнянський Л. Л. Процеси та апарати хімічної технології / Л. Л. Товажнянський, А. Л. Готлінська, В. О. Нечипоренко І. С. Чернишов. – Харків, НТУ. – 2006. – Ч.2. – 540 С.
9. Процеси та обладнання хімічних технологій: Гідромеханічні та механічні процеси: лабораторний практикум. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Я.М. Корнієнко, А.Р. Степанюк, С.В. Гулієнко., **С.С. Гайдай** – Електронні текстові данні (1 файл: 4,80 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 151 с. ([https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/32178/1/P та OKhT.docx](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/32178/1/P%20ta%20OKhT.docx)).
10. Корнієнко Я. М. Процес зневоднення композитних рідких систем в псевдозрідженому шарі із застосуванням механічного диспергатора / Я. М. Корнієнко, Д. С. Семененко, О. В. Мартинюк, С. С. Гайдай // НТУУ «КПІ». – Київ: НТУУ «КПІ». – 2015. – 167 С. (<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/11944>)
11. Корнієнко Я. М. Процес одержання модифікованих гранульованих гуміново-мінеральних добрив / Я. М. Корнієнко, А. М. Любека, С. С. Гайдай // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2017. – 210 С. (<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21268>)
12. Підвищення ефективності процесу грануляції органо-мінеральних добрив у апаратах із псевдозрідженим шаром [Електронний ресурс]: монографія для студентів, які навчаються за напрямком «Машинобудування», освітня програма «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 194 С.
13. Забезпечення стабілізації поверхні в динамічних дисперсних системах при грануляції органо-мінеральних добрив [Електронний ресурс]: монографія для студентів, які навчаються за напрямком «Машинобудування», освітня програма «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. Я. М. Корнієнко, С. С. Гайдай, Куріньовський О.В.. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 193 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

14. Міністерство з питань стратегічних галузей промисловості України [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://mspu.gov.ua>.
15. Союз хіміків України [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <http://chemunion.org.ua/uk>.
16. International congress of chemical process [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://2020.chisa.cz>.
17. Digital management of the construction process – developed by entrepreneurs for entrepreneurs [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://www.chisa.dk>.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних глибоких знань з дисципліни, рівень яких визначається цільовою установкою до кожної конкретної теми;
- забезпечення в процесі роботи критичної творчої роботи спільно з викладачем;
- виховання у студентів професійних якостей та розвиток у них самостійного творчого мислення;
- усвідомлення світових тенденцій розвитку науки в області інтенсифікації процесів тепло-масообміну в промисловому обладнанні через гідродинаміку;
- усвідомлення методів обробки інформаційних ресурсів та визначення основних напрямків щодо вирішення конкретних науково-технічних задач.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
1	2	3
Розділ 1. Гідромеханічні процеси		
1	Тема 1.1 Вступ. Загальні положення Наводиться характеристика дисперсій у залежності від агрегатного стану дисперсійного середовища та дисперсної фази. Література [1,2,3]. Завдання на СРС: Навести методики визначення дисперсного складу пилу.	2
2	Тема 1.2 Механічне очищення газів Розглянуто фізичну сутність процесів при розділенні неоднорідних газових систем у фізичних полях різної природи: гравітаційному, відцентровому та електростатичному, а також при фільтрації через перегородку та застосуванні методів «мокрого» газоочищення. Література [1,2,3]. Завдання на СРС: За матеріалами огляду вітчизняних та зарубіжних патентів вибрати по одній конструкції з кожного способу очищення та провести критичний аналіз.	4
3	Тема 1.3 Розділення неоднорідних рідких систем Розглянуто фізичну сутність процесів розділення неоднорідних рідких систем під дією рушійних сил різної природи: гравітації та відцентрових, а також при фільтрації. Ознайомлення із основними кінетичними характеристиками при різних способах організації процесів. Пояснення теоретичних засад процесу розділення у гідроциклонах. Формулювання уявлення про процеси розділення у центрифугах відстійного та фільтруючого типів. Набуття навиків розрахунку витрат енергії для проведення процесу. Опанування методиками для розрахунку центрифуг різного типу. Фізичні засади процесу перемішування рідин. Ознайомлення із методиками визначення ефективності та інтенсивності процесу, що визначає раціональну область проведення процесу. Фізична сутність та особливості взаємодії дисперсної фази та суцільного середовища при псевдозрідженні. Поняття про число псевдозрідження та умови реалізації активної гідродинаміки при однорідному та неоднорідному псевдозрідженні. Опанування методики розрахунку апаратів. Література [1-14].	6

1	2	3
	<i>Завдання на СРС: За матеріалами огляду вітчизняних та зарубіжних патентів обрати по одній конструкції апарату для кожного з розглянутих процесів та провести критичний аналіз.</i>	
Розділ 2. Механічні процеси		
4	Тема 2.1 Подрібнення твердих матеріалів Основні поняття, визначення та класифікації процесів подрібнення. Сутність гіпотез подрібнення. Способи подрібнення та основні вимоги до машин подрібнення. Принцип роботи машин великого, середнього та дрібного подрібнення. Базова методика розрахунку машин для подрібнення. Конструкції млинів та ознайомлення із методиками розрахунку кульових та вібромлинів. Література [1,2,3]. Завдання на СРС: За матеріалами огляду вітчизняних та зарубіжних патентів обрати по одній конструкції машин для подрібнення та провести критичний аналіз.	3
5	Тема 2.2 Сортування та класифікація твердих матеріалів Загальні положення та схеми класифікації твердих матеріалів за допомогою грохотів. Фізична сутність процесів класифікації: - гідравлічної - повітряної - магнітної та методики розрахунку для їх проведення. Література [1,2,3,4]. Завдання на СРС: За матеріалами огляду вітчизняних та зарубіжних патентів обрати по одній конструкції для кожного із розглянутих типів процесу класифікації та провести критичний аналіз.	2
Розділ 3. Основи теорії масообміну		
6	Тема 3.1 Вступ. Основні визначення. Стан рівноваги Наводиться фізична сутність процесів масообміну та основні визначення. Розглядається стан рівноваги процесів. Обґрунтовується загальний розв'язок основного рівняння масопередачі та способи вираження концентрацій. Література [1,2,3]. Завдання на СРС: Способи вираження концентрації для бінарних систем. Потрійні діаграми для рідких систем. Механізм конвективної дифузії.	2
7	Тема 3.2 Дифузійний перенос маси в рухомих середовищах Розглянуто механізм масопередачі. Перший закон Фіка. Диференційне рівняння молекулярної дифузії. Фізична модель конвективної дифузії. Диференційне рівняння конвективної дифузії. Термодифузія. Моделі дифузійних процесів. Основний закон конвективної дифузії – закон Щукарева. Узагальнена математична модель процесів масообміну. Визначення коефіцієнту масопередачі. Одержання критеріїв подібності для процесів масообміну. Перетворення основного рівняння масопередачі для насадкових апаратів.	3

1	2	3
	<i>Література [1,2,3].</i> <i>Завдання на СРС: Пояснити, як впливає гідродинамічний режим на ефективність масообміну. Навести фактори, які найбільш суттєво визначають дифузійний опір масопередачі.</i>	
8	Тема 3.3 Основи розрахунку масообмінних апаратів <i>Наведено основи розрахунку базових конструкцій масообмінних апаратів. Розрахунок діаметру масообмінних препаратів тарілчастого та насадкового типів. Визначення робочої швидкості газової фази.</i> <i>Література [1,2,3].</i> <i>Завдання на СРС: Навести критерії, за якими найбільш доцільно проводити вибір конструктивного оформлення поверхні масообміну.</i>	3
9	Тема 3.4 Масообмін в системах з твердою фазою <i>Розглянута масопередача в системах з твердою фазою. Фізична модель процесу. Математичний опис процесу. Основні критеріальні залежності, які використовуються для інженерних розрахунків.</i> <i>Література [1,2,3].</i> <i>Завдання на СРС: Пояснити, які фактори найбільш суттєво впливають на інтенсивність переносу маси в системах з твердою фазою.</i>	2
Розділ 4. Масообмінні процеси		
10	Тема 4.1 Масообмін при абсорбції <i>Наведено фізичну модель процесу абсорбції. Види абсорбції. Кінетика процесу абсорбції. Матеріальний баланс процесу абсорбції. Робоча лінія процесу. Розрахунок мінімальних, робочих та оптимальних витрат поглиначів.</i> <i>Розглянуто схеми процесу абсорбції. Особливості конструкцій абсорберів. Основи розрахунку різних типів абсорбції. Десорбція. Фізична модель. Методи проведення десорбції.</i> <i>Література [1,2,3].</i> <i>Завдання на СРС: Обґрунтувати схеми проведення абсорбції у випадках вилучення цільового компонента з газового середовища або насичення рідкої фази. За матеріалами патентного огляду навести сучасні ефективні конструкції абсорбції з різними способами організації поверхні міжфазового контакту. Обґрунтувати конструктивні особливості апаратів для десорбції. Пояснити принципи побудови технологічної схеми абсорбції поєднаної з десорбцією.</i>	3
11	Тема 4.2 Масообмін при адсорбції <i>Наведено фізичну модель. Статика і кінетика адсорбції. Рівняння Шилова.</i> <i>Розглянуто схеми адсорбції. Основи розрахунку адсорберів. Конструкції адсорберів. Схеми процесу. Хроматографія. Іонний обмін. Десорбція.</i> <i>Література [1,2,3,4].</i> <i>Завдання на СРС: За матеріалами патентного огляду навести сучасні конструкції адсорберів періодичної та безперервної дії, а також апарати з використанням іонообмінних смол.</i>	3

1	2	3
12	Тема 4.3 Масообмін при дистиляції та ректифікації Представлення процесу ректифікації на діаграмах t-x, y та y-x. Вивід рівняння для робочих ліній процесу та їх графічна інтерпретація. Аналіз роботи ректифікаційної колони. Визначення мінімального та робочого флегмових чисел. Основні конструкції ректифікаційних колон. Література [1,2,3,4]. Завдання на СРС: Пояснити доцільність застосування періодичної та безперервної ректифікації. Вказати переваги та недоліки. За оглядом патентів навести сучасні конструкції ректифікаційних колон з різними типами масообмінних пристроїв.	3
	Всього	36

Лабораторні заняття

Повинні допомагати студентам набувати умінь застосовування теоретичних знань при дослідженні обладнання для проведення гідромеханічних та механічних процесів.

Основні завдання циклу лабораторних робіт полягають в доскональному вивченні особливостей та механізму реалізації гідромеханічних та механічних процесів.

№ з/п	Назва теми лабораторного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість Годин
1	2	3
1	Лабораторне заняття № 1. Дослідження процесу осадження в полі сил тяжіння. Визначити вплив на швидкість осадження твердих тіл із різними фізико-механічними властивостями у середовищах із різними теплофізичними параметрами та режими руху. Література [1,2,3,9]. Завдання на СРС: Визначити як впливає температура рідкого середовища на швидкість осадження.	2
2	Лабораторне заняття № 2. Дослідження роботи фільтруючої центрифуги. Розширюється уявлення про цикли роботи центрифуги фільтраційного типу періодичної дії. Експериментально визначаються витрати потужності в пусковий та робочий періоди, час процесу розділення суспензії у полі відцентрових сил та вологість одержаного осаду. Приділяється увага зміні числа обертів барабана центрифуги при вивантаженні осаду. Література [1,2,3,9]. Завдання на СРС: Проаналізувати вплив зменшення часу центрифугування та часу пуску центрифуги на витрати енергії.	2
3	Лабораторне заняття № 3. Дослідження роботи мішалки для перемішування рідин. Провести експериментальне визначення витрат на перемішування в пусковий та робочий періоди. Визначити критерії потужності та їх залежність від числа обертів мішалки. Література [1,2,3,9]. Завдання на СРС: Провести аналіз енерговитрат на перемішування та обґрунтувати технічне рішення щодо зниження енерговитрат за матеріалами патентного дослідження.	2

1	2	3
4	Лабораторне заняття № 4. Дослідження гідродинаміки псевдозрідженого шару. Експериментально визначити залежність гідравлічного опору шару в залежності від приведеної швидкості газу в поперечному перерізі апарату. Визначити області існування стійкого режиму однорідного псевдозрідження. З'ясувати фізичну сутність числа псевдозрідження. Визначити коефіцієнт гідравлічного опору газорозподільного пристрою. Література [1,2,3,9]. Завдання на СРС: Провести аналіз конструкцій газорозподільних пристроїв та оцінити їх вплив на гідродинаміку псевдозрідженого шару.	2
5	Лабораторне заняття № 5. Дослідження роботи щоклової дробарки. Визначити вплив конструкції робочої камери дроблення та спосіб підвісу рухомої щокло на продуктивність та ступінь подрібнення. Визначити витрати енергії при різних ступенях подрібнення. Література [1,2,3,9]. Завдання на СРС: Проаналізувати вплив способу підвісу рухомої щокло на енерговитрати.	2
6	Лабораторне заняття № 6. Дослідження роботи валкової дробарки. Визначення максимального розміру частинок при якому можливе втягування матеріалу. Визначити енерговитрати при різних ступенях подрібнення. Література [1,2,3,9]. Завдання на СРС: Обґрунтувати пропозиції щодо виконання «Золотого правила подрібнення для валкових дробарок.	2
7	Лабораторне заняття № 7. Визначення гідравлічного опору насадкового абсорбера при різних режимах руху рідкої та газової фази. Отримати уявлення про реалізацію масообмінних процесів при абсорбції. Визначити гідравлічний опір сухої колони. Визначити гідравлічний опір при постійній витраті рідини, а також при збільшенні витрат газової фази та досягти режиму інверсії фаз. Література [1,2,3,11].3	2
8	Лабораторне заняття № 8. Дослідження процесу десорбції. Дослідити процес десорбції вуглекислого газу в струмені повітря при різних витратах рідкої фази та постійних витратах газової фази. Повторити дослідження при мінімальній щільності зрошення поверхні насадки, але при різних витратах рідкої фази. Література [1,2,3,11].	2
9	Лабораторне заняття № 9. Дослідження процесу ректифікації. Визначити кількісні та якісні параметри дистиляту при різних значеннях флегмового числа. Література [1,2,3,11].	2
	Разом	18

6. Самостійна робота студента

Мета самостійної роботи полягає у поглибленому вивченні методів, способів та конструкцій обладнання для проведення гідромеханічних процесів шляхом ознайомлення з вітчизняними та іноземними патентами за вказаними темами. Результати СРС вносяться до альбому конструкцій (звіт по СРС).

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість Годин
1	2	3
Розділ 1. Гідромеханічні процеси		
1	Тема 1.1 Вступ. Загальні положення Аналіз основних типів існуючих конструкцій апаратів для розділення неоднорідних газових систем з патентами за останні 10 років. Порівняння ефективності роботи базових конструкцій апаратів для розділення рідинних неоднорідних систем з відповідними патентами за останні 10 років. Література: [Література [1,2,3].	5
2	Тема 1.2. Перемішування рідин та сипких матеріалів. Розрахунок енерго-силових параметрів перемішуючих пристроїв та порівняння їх із сучасними технічними рішеннями, наведеними в патентах. Розрахунок основних параметрів апарату псевдозрідженого шару для забезпечення стійкої гідродинаміки. Література: [Література [1,2,3-14].	6
Розділ 2. Механічні процеси		
3	Тема 2.1 Подрібнення. На підставі огляду патентів навести конструкції дробарок, в яких реалізується «золоте правило механіки», або запропонувати своє вдосконалення обраної конструкції. За матеріалами патентного огляду вибрати патент за індивідуальним завданням та обґрунтувати пропозиції щодо вдосконалення конструкції. Література: [1, 2, 3].	4
4	Тема 2.2 Сорткування та класифікація твердих матеріалів За матеріалами огляду вітчизняних та зарубіжних патентів обрати по одній конструкції для кожного із розглянутих типів процесу класифікації та провести критичний аналіз. Література [1,2,3,4].	6
Розділ 3. Основи теорії масообміну		
5	Тема 3.1 Вступ. Основні визначення. Стан рівноваги Визначити найбільш суттєві параметри, які впливають на стан рівноваги. Література: [Література [1,2,3].	4
6	Тема 3.2 Дифузійний перенос маси в рухомих середовищах Ознайомитись із способами зменшення дифузійного опору при молекулярній дифузії. Література: [Література [1,2,3].	5
7	Тема 3.3 Основи розрахунку масообмінних апаратів. Ознайомитись з методикою розрахунку тарілчастих ректифікаційних апаратів за методом «від тарілки до тарілки» Література: [Література [1,2,3].	5

1	2	3
Розділ 4. Масообмінні процеси		
8	Тема 4.1. Масообмін при абсорбції. За результатами патентного огляду навести по одній конструкції абсорберів в залежності від форми утворення міжфазового контакту: поверхневі, розпилювальні, плівкові, насадкові та тарілчасті. Література: [6, 7, 8].	5
9	Тема 4.2 Масообмін при адсорбції За матеріалами патентного огляду навести найбільш ефективні конструкції адсорберів з нерухомим та рухомим шаром сорбенту. Література: [6, 7, 8].	5
10	Тема 4.3. Масообмін при дистиляції та ректифікації. За матеріалами патентного огляду навести найбільш ефективні конструкції ректифікаційних колон: насадкові, тарілчастого типу (три типи тарілок) та роторно-плівкового апарату. Література: [6, 7, 8].	5
11	Підготовка до модульної контрольної роботи	10
12	Підготовка до іспиту	20
	Разом	81

Політика та контроль

Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом:

—відвідування лекційних та лабораторних занять є обов'язковою складовою вивчення дисципліни;

—на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом, використовує Google диск та/або Telegram для викладання матеріалів поточної лекції, додаткових ресурсів, лабораторних робіт та інше, викладач відкриває доступ до певної директорії для скидання методичних матеріалів у електронній формі;

—на лекції не бажано відволікати викладача від викладання матеріалу, усі запитання, уточнення та інше студенти задають в кінці лекції у відведений для цього час;

—лабораторні роботи виконуються у два етапи – перший етап: студенти підтверджують свою необхідну підготовку та проводять лабораторні роботи; другий етап: захист лабораторної роботи. Бали за лабораторну роботу зараховуються лише за наявності звіту;

—модульна контрольна робота пишеться на лекційних заняттях без застосування допоміжних засобів (мобільного телефону, планшету та ін.). Результат посилається у файлі до відповідної директорії Google диску та/або Telegram;

—заохочувальні бали виставляються за активну участь у лекціях, участь у факультетських та університетських олімпіадах з навчальних дисциплін, у конкурсах робіт, підготовку оглядів наукових праць; презентацій по одній із тем СРС дисципліни тощо. Кількість заохочувальних балів не більше 10.

Методи навчання

При викладенні навчальної дисципліни для активації навчального процесу передбачено застосування таких навчальних технологій, як: проблемні лекції, роботи в малих групах тощо.

Проблемні лекції спрямовані на розвиток логічного мислення студентів і характеризуються тим, що коло питань теми обмежується двома-трьома ключовими

моментами, увага студентів концентрується на матеріалі, що не знайшов відображення в підручниках, використовується досвід закордонних навчальних закладів з роздачею студентам під час лекції друкованого матеріалу та виділенням головних висновків з питань, що розглядаються. При читанні лекцій студентам даються питання для самостійного розмірковування, проте лектор сам відповідає на них, не чекаючи відповідей студентів. Система питань у ході лекції відіграє активізуючу роль, змушує студентів сконцентруватися і почати активно мислити у пошуках правильної відповіді.

Міні-лекції передбачають виклад навчального матеріалу за короткий проміжок часу і характеризуються значною ємністю, складністю логічних побудов, образів, доказів та узагальнень. Міні-лекції проводяться, як правило, як частина заняття-дослідження.

Кейс-метод (метод аналізу конкретних ситуацій) дає змогу наблизити процес навчання до реальної практичної діяльності спеціалістів і передбачає розгляд виробничих, управлінських та інших ситуацій, складних конфліктних випадків, проблемних ситуацій, інцидентів у процесі вивчення навчального матеріалу.

Інструменти та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна «Процеси та апарати хімічної технології. Частина 2. Гідромеханічні та масообмінні процеси і апарати хімічної технології».

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

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом:

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи		
	Кредити	акад. год.	Лекції	Практичні	Лаб. роб.	СРС	МКР	РР	Семестровий контроль (іспит)
5	4,5	135	36	0	18	81	1	0	Екзамен

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- виконання лабораторних робіт (45 балів)
- виконання модульної контрольної (15 балів)

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

Лабораторні роботи

- «відмінно» – повна відповідь, вчасно, на занятті виконане завдання (не менше 90% потрібної інформації) – 5 балів;
- «добре» – достатньо повна відповідь, вчасно, на занятті виконане завдання (не менше 75% потрібної інформації) – 4-3 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь, невчасно, після заняття, виконане завдання (не менше 60% потрібної інформації) – 2-1 балів;
- «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам на «задовільно» – 0 балів.

Модульна контрольна робота №1

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 7 балів;
- «добре» – достатньо повна відповідь, (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 6-4 балів;

- «задовільно» – неповна відповідь, (не менше 60% потрібної інформації), та незначні помилки – 3-1 бали;

- «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам на «задовільно» – 0 балів.

Модульна контрольна робота №2

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 8 балів;

- «добре» – достатньо повна відповідь, (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 7-4 балів;

- «задовільно» – неповна відповідь, (не менше 60% потрібної інформації), та незначні помилки – 3-1 бали;

- «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам на «задовільно» – 0 балів.

Заохочувальні бали

- за активну роботу на лекції – 3-1 бали

Міжсесійна атестація

За результатами роботи за перші 7 тижнів максимально можлива кількість балів – 20 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 10 балів (в умовах надзвичайної ситуації в країні мінімальна кількість балів для отримання «атестовано» може зменшитись з урахуванням реальних можливостей студентів).

За результатами 13 тижнів навчання максимально можлива кількість балів – 32 бали. На другій атестації (14 тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менший ніж 16 балів (в умовах надзвичайної ситуації в країні мінімальна кількість балів для отримання «атестовано» може зменшитись з урахуванням реальних можливостей студентів).

Таким чином рейтингова семестрова шкала з кредитного модуля складає:

$$R = 5 \cdot r_{\text{лабораторні}} + 1 \cdot r_{\text{МКР(№1)}} + 1 \cdot r_{\text{МКР(№2)}} = 5 \cdot 9 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 8 = 60 \text{ балів}$$

Екзамен

Умовою допуску студента до екзамену є зарахування всіх практичних та лабораторних робіт, розрахункової роботи та стартовий рейтинг не менше 26 балів.

На екзамені студенти виконують письмову роботу (40 балів).

Екзаменаційний білет містить чотири питання. Перше, друге і третє відносяться до теоретичних, четверте – конструкція обладнання за матеріалами патентного огляду студента, тому максимальна кількість балів розподіляється таким чином: питання 1 – 9 балів, питання 2 – 9 балів, питання 3 – 9 балів, питання 4 – 13 балів.

Система оцінювання відповідей на питання

– «відмінно» – повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язання завдання), відповідно:

I – 9-8; II – 9-8; III – 9-8; IV – 13-12.

– «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язання завдань з незначними неточностями), відповідно: I – 7-5; II – 7-5; III – 7-5; IV – 11-7.

- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконано з певними недоліками), відповідно: I – 4-1; II – 4-1; III – 4-1; IV – 6-1.

- «незадовільно» відповідь не відповідає вимогам на «задовільно» – 0 балів

Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
95...100	відмінно
85...94	дуже добре
75...84	добре
65...74	задовільно
60...64	достатньо
RD < 60	незадовільно
Не виконані умови допуску	не допущено

7. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік теоретичних питань, які виносяться на семестровий контроль наведено в додатку 1

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв,
кандидат технічних наук, ст. викладач Гайдай Сергій Сергійович

Ухвалено кафедрою МАХНВ (протокол № 20 від 20.06.2022 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 24.06.2022 р.)

Додаток

Модульна контрольна робота №1 виконується після вивчення розділу 1 та 2.

1. Пояснити механізм розділення неоднорідних газових систем в полі сил тяжіння.
2. Вивести диференціальне рівняння осідання твердих частинок.
3. Навести методику розрахунку газового відстійника.
4. Оцінити переваги та недоліки пилоосаджувальної камери.
5. Навести основні технічні способи створення поля відцентрових сил. Вивести диференціальне рівняння осадження твердих частинок в полі відцентрових сил.
6. Сформулювати переваги та недоліки циклонів.
7. Обґрунтувати переваги та недоліки батарейних циклонів.
8. Сформулювати фізичну модель розділення неоднорідних газових систем в полі відцентрових сил.
9. Обґрунтувати переваги та недоліки рукавних фільтрів для розділення неоднорідних газових систем.
10. Оцінити переваги та недоліки електрофільтрів.
11. Проаналізувати основні способи мокрої газоочистки.
12. Оцінити переваги та недоліки апарату для мокрої газоочистки.
13. Пояснити фізичну модель взаємодії рідкої фази з неоднорідною газовою системою при мокрій газоочистці.
14. Пояснити принцип роботи пінного апарату мокрої газоочистки та оцінити його ефективність.
15. Обґрунтувати умови застосування мокрої газоочистки. Навести переваги та недоліки швидкісного газопромивача "СИОТ".
16. Сформулювати фізичну модель вловлювання твердих частинок в циклонах з водяною плівкою.
17. Сформулювати фізичну модель вловлювання твердих частинок в низьконапірних скруберах Вентурі.
18. Навести переваги та недоліки гідроциклонів.
19. Пояснити фізичну модель процесу фільтрації суспензій. Вивести диференціальне рівняння руху рідини через осад.
20. Обґрунтувати фізичну модель процесу фільтрації суспензій. Провести перетворення основного рівняння фільтрації для випадку, коли $\Delta P = \text{const}$.
21. Виконати перетворення основного рівняння фільтрації для випадку постійної швидкості фільтрації.
22. Сформулювати переваги та недоліки рідинних фільтрів, які працюють під надлишковим тиском.
23. Пояснити фізичну модель процесу розділення в центрифугу.
24. Визначити рушійну силу процесу фільтрації для фільтрувальної центрифуги. Пояснити сутність фактору розділення.
25. Записати рівняння матеріального балансу процесу центрифугування. Визначити фактор розділення.
26. Навести порядок розрахунку потужності на центрифугування в пусковий період.
27. Обґрунтувати переваги і недоліки фільтрувальної центрифуги безперервної дії.
28. Пояснити фізичну модель процесу фільтрації суспензій. Вивести диференціальне рівняння руху в'язкої рідини в шарах осаду.
29. Навести методику розрахунку потужності мішалки в робочий період.
30. Навести методику розрахунку потужності для рідинних мішалок в пусковий період.
31. Навести перетворення критеріїв Рейнольдса та Ейлера для рідинних мішалок. Визначити витрати потужності на перемішування в робочий період.
32. Навести порядок розрахунку мішалок для рідин.
33. Навести переваги і недоліки рідинного відстійника.
34. Навести переваги і недоліки апарату з псевдозрідженим шаром.
35. Пояснити фізичну модель процесу фільтрації газів через пористу перегородку.
36. Навести переваги і недоліки рідинного фільтру, що працює під вакуумом.

37. Пояснити фізичну модель процесу мокрої газоочистки в апаратах ударно-інерційної дії (ротоклон, скрубер Дойля).

38. Сформулювати фізичну сутність фактора розділення та яких значень він набуває для циклонів та центрифуг.

39. Навести переваги і недоліки відстійної центрифуги.

40. Навести переваги і недоліки прямоточного циклону.

41. Пояснити фізичну модель розділення в центрифугах. Навести рівняння матеріального балансу процесу.

42. Навести переваги і недоліки фільтру для рідин безперервної дії.

43. Навести переваги і недоліки лопатевих мішалок.

44. Пояснити взаємозв'язок ефективності та інтенсивності при перемішуванні рідких систем.

45. Навести порядок розрахунку витрат потужності для рідинних мішалок в робочий період.

46. Навести переваги і недоліки перемішувачів пристроїв для сипких матеріалів.

47. Надати визначення подрібнення.

48. Навести існуючі способи подрібнення.

49. Проаналізувати класи подрібнення.

50. Надати визначення ступеня подрібнення та його аналіз.

51. Сформулювати гіпотезу поверхневого подрібнення. Визначити область її застосування.

52. Сформулювати гіпотезу об'ємного подрібнення. В чому полягає основний недолік гіпотези?

53. Навести способи підвісу рухомої щоки. Проаналізувати вплив цих способів на розмір шматків кінцевого продукту.

54. Встановити спосіб підвісу рухомої щоки, який доцільно застосувати при подрібненні твердих матеріалів $\sigma \geq 200$ МПа.

55. Визначення кута захоплення в щоківій дробарці.

56. Вплив кута захоплення на продуктивність щоківій дробарки.

57. Умови визначення числа обертів ексцентрикового валу щоківій дробарки.

58. Пояснити обмеження числа обертів валків валкової дробарки.

59. До якого класу машин відносяться бігуни? Який спосіб подрібнення при цьому реалізується?

60. Як збільшити діючу силу процесу при використанні бігунів?

61. Як збільшити продуктивність бігунів?

62. До якого класу машин відносяться молоткові дробарки?

63. Пояснити чи виконується при роботі в молоткових дробарках "Золоте правило" подрібнення.

64. Основний недолік молоткових дробарок.

65. Який спосіб подрібнення реалізується в щоківій дробарках?

66. До якого класу машин відносяться кульові млини?

67. Назвати форму та матеріал робочих тіл в кульових млинах.

68. Який спосіб подрібнення реалізується в кульових млинах і в якому інтервалі розмірів початкового і кінцевого матеріалу?

69. Для досягнення рівномірності подрібнення, які конструктивні особливості мають кульові млини?

70. Порівняння та аналіз витрат енергії в кульовому млині в робочому і "холостому" ході.

71. Сила, що утримує робоче тіло на внутрішній поверхні кульового млина.

72. Чи є обмеження числа обертів кульового млина? Як визначається робоче число обертів кульового млина?

73. Яким чином здійснюється вивантаження подрібненого матеріалу з кульового млина при сухому та "мокрому" подрібненні?

74. Як здійснюється привід робочого барабану кульового млина?

75. До якого класу машин подрібнення відносяться вібромлини?
76. Який спосіб подрібнення реалізується у вібраційних млинах?
77. Який спосіб подрібнення реалізується в струменевих млинах?

Модульна контрольна робота №2 виконується після вивчення розділу 3 та 4.

1. Процеси масопередачі. Механізм передачі маси.
2. Матеріальний баланс масообміну. Вивід рівняння робочої лінії процесу в масообмінних апаратах.
3. Стан рівноваги. Правило фаз.
4. Розрахунок середньої рушійної сили процесу, коли лінія рівноваги пряма.
5. Конвективна дифузія. Закон Шукарева.
6. Молекулярна дифузія. Вивід диференційного рівняння молекулярної дифузії.
7. Визначення середньої рушійної сили процесу для випадку, коли лінія рівноваги крива.
8. Вивід критеріїв подібності для масообмінних процесів.
9. Фізична суть конвективної дифузії. Вивід диференційного рівняння конвективної дифузії.
10. Коефіцієнти масопередачі. Вивід рівняння для визначення коефіцієнта масопередачі.
11. Визначення числа одиниць переносу для випадку, коли лінія рівноваги пряма.
12. Фізична модель молекулярної дифузії. Перший закон Фіка.
13. Вивід диференційного рівняння молекулярної дифузії.
14. Перетворення основного рівняння масопередачі для насадкових колон.
15. Число одиниць переносу. Висота одиниці переносу.
16. Стан рівноваги. Правило фаз. Закон Генрі.
17. Фізична модель процесу масопередачі. Вивід диференційного рівняння конвективної дифузії.
18. Визначення числа теоретичних тарілок. Ступінь концентрації та її визначення.
19. Рівняння на межі розділу фаз.
20. Розрахунок числа дійсних тарілок у масообмінних апаратах (Розрахунок масообмінних апаратів за кінетичними кривими).
21. Загальне рішення основного рівняння масопередачі.
22. Вивід рівняння робочої лінії масопередачі.
23. Перетворення основного рівняння масопередачі для насадкових колон.
24. Число одиниць переносу. Висота одиниць переносу.
25. Рівняння на межі розділу середовищ.
26. Визначення концентрації бінарної суміші в газовому середовищі через парціальний тиск компонентів.
27. Подібність в процесах масопередачі. Вивід критеріїв подібності.
28. Стан рівноваги. Правило фаз. Вплив температури і тиску на стан рівноваги.
29. Фізична модель взаємодії рідкої і газоподібної фаз в насадковому масообмінному апараті. Порядок розрахунку таких апаратів.
30. Фізична модель процесів масообміну в насадкових і тарільчатих колонах. Розрахунок числа дійсних тарілок в масообмінному апараті за кінетичними кривими.
31. Матеріальний баланс процесів масообміну. Вивід рівняння робочої лінії процесу.
32. Фізична модель процесу абсорбції. Фізична і хімічна абсорбція, матеріальний баланс процесу абсорбції.
33. Фізична модель процесу ректифікації. Вивід рівняння робочої лінії для нижньої частини ректифікаційної колони.
34. Конструкція абсорбера з провальними тарілками.

35. Визначення мінімальних витрат поглинача.
36. Фізична модель процесу ректифікації, флегмове число.
37. Вивід рівняння робочої лінії для нижньої частини ректифікаційної колони.
38. Конструкція плівкового абсорбера.
39. Дистиляція. Фізична суть процесу.
40. Фракційна перегонка. Розрахунок простої перегонки.
41. Фізична модель процесу абсорбції. Фізична та хімічна абсорбція.
42. Фактори, які суттєво впливають на процес абсорбції. Неізотермічна абсорбція. Розрахунок температури поглинача.
43. Ректифікаційна колона тарілчастого типу (два типи тарілок).
44. Визначення мінімальних витрат поглинача.
45. Перші закони Коновалова та Вревського.
46. Конструкція плівкового абсорбера.
47. Ідеальні сумішні діаграми $P-X$; $Y-X$; $t-X, Y$.
48. Абсорбція. рівняння матеріального балансу. Вивід робочої лінії процесу.
49. Конструкція тарілчастого абсорбера, зокрема з провальними тарілками.
50. Конструкція ректифікаційної колони насадкового типу.
51. Другий закон Коновалова, другий закон Вревського.
52. Азеотропна точка. Діаграми $P-X$; $t-X, Y$; $Y-X$.
53. Неізотермічна абсорбція. Визначення температури поглинача. Побудова реальної лінії рівноваги.
54. Фізична модель процесу абсорбції. Розрахунок мінімальних та дійсних витрат фази (поглинача) при абсорбції.
55. Конструкція абсорбера плівкового типу.
56. Фізична модель процесу ректифікації. Вивід рівняння робочої лінії для верхньої частини колони.
57. Фізична модель процесу дистиляції. Ідеальні рідини. Рідини, які не змішуються одна з одною. Визначення температури кипіння цих рідин.
58. Ректифікаційна колона з ковпачковими тарілками.
59. Фізична модель процесу ректифікації. Вивід рівняння робочої лінії для нижньої частини ректифікаційної колони.
60. Фізична модель процесу адсорбції.
61. Основні вимоги до адсорбенту.
62. Пояснити кінетику процесу адсорбції. Час дії захисного шару адсорбенту. Стан насичення.
63. Пояснити рівняння Шилова для адсорбції.
64. Десорбція. Способи регенерації адсорбенту.
65. Навести схеми процесу адсорбції.
66. Конструкції адсорберів періодичної дії.
67. Конструкції адсорберів безперервної дії.