



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет технічних систем
та енергоефективних технологій

5922 Методичні вказівки
щодо вивчення дисципліни
«Теоретичні основи процесів хімічної інженерії»
для здобувачів спеціальності *133 «Галузеве машинобудування»*
освітньої програми **«Комп'ютерний інжиніринг обладнання**
хімічних виробництв»
усіх форм здобуття вищої освіти

Суми
Сумський державний університет
2024

Методичні вказівки щодо вивчення дисципліни «Теоретичні основи процесів хімічної інженерії» / укладач М. П. Юхименко. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 16 с.

Кафедра хімічної інженерії факультету ТеСЕТ

ЗМІСТ

	С.
1 Мета й завдання дисципліни, її місце в навчальному процесі	4
1.1 Мета й завдання викладання дисципліни	4
1.2 Місце дисципліни в навчальному процесі	5
2 Зміст дисципліни	6
3 Методи навчання	10
4 Методи оцінювання	11
5 Питання для самостійної підготовки до модульного контролю	12
Список літератури	15

1 МЕТА Й ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ, ЇЇ МІСЦЕ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

1.1 Мета й завдання викладання дисципліни

Одним із завдань розроблення промислового хіміко-технологічного процесу є вибір типу, конструкції та розрахунок хімічного реактора – центрального апарата в хіміко-технологічній схемі, яка містить у собі цілу низку технологічного обладнання, що з'єднане між собою трубопроводами, у яких рухаються матеріальні потоки. Тому важливим завданням підготовки бакалавра за ОПП «Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв» є ознайомлення здобувачів вищої освіти з теоретичними основами щодо характеристики режимних параметрів експлуатації хімічних реакторів.

Дисципліна «Теоретичні основи процесів хімічної інженерії» (ТОПХІ) є спеціальною дисципліною бакалаврської підготовки, у якій вивчають загальні відомості щодо хімічних реакторів, умови оптимальної роботи хімічних реакторів з ідеальною та неідеальною структурами потоків. Ця дисципліна завершує цикл першого семестру 3-го року підготовки бакалаврів для відповідної освітньо-професійної програми в галузях хімічної промисловості.

Унаслідок вивчення дисципліни ТОПХІ здобувачі вищої освіти повинні **знати**:

- теоретичні основи гідродинамічних і теплових режимів роботи хімічних реакторів з ідеальною та неідеальною структурами потоків;

- теоретичні основи розрахунку хімічних реакторів;

уміти:

- розраховувати режимні параметри роботи хімічних реакторів;

- розраховувати гідродинамічні параметри твердофазних реакторів.

На основі отриманих знань і набутих навичок здобувач має бути підготовленим до виконання бакалаврської роботи.

1.2 Місце дисципліни в навчальному процесі

Дисципліна «Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв» (ММХП) має бакалаврську спрямованість і ґрунтується на знаннях, уміннях і навичках, отриманих під час вивчення таких дисциплін:

Фізика. Фізичні властивості ідеальних і реальних газів. Кінетична теорія газів. Фізичні властивості рідин і твердих тіл. Енергетичні властивості речовин. Закони зберігання маси, енергії, кількості руху, моменту імпульсу. Властивості газів і рідин залежно від температури й тиску. Розрахунок фізико-хімічних властивостей газів і їхніх сумішей.

Вища математика. Диференціювання, інтегрування, рішення диференціальних і інтегральних рівнянь.

Хімія. Атомно-молекулярне вчення й хімічні елементи. Розрахунок атомних і молекулярних мас, розрахунок масових і об'ємних витрат хімічних реагентів у хімічних процесах. Закономірності протікання хімічних реакцій. Кінетика хімічних реакцій.

Гідравліка й гідропневмопривід. Гідростатика, рівняння руху рідини. Гідродинаміка, рівняння нерозривності потоку. Рівняння Бернуллі для реального потоку.

Теоретичні основи теплотехніки. Параметри термодинамічних систем, закони термодинаміки, термодинамічні процеси. Реальні гази, фазові переходи, діаграми стану реальних газів. Рівняння зберігання енергії для поточкових систем.

Загальна хімічна технологія. Хімічні системи, рівновага в технологічних процесах.

Процеси та апарати хімічної технології. Статика й кінетика хімічних процесів. Моделювання процесів і апаратів. Гідродинамічні процеси та обладнання. Теплообмінні процеси та обладнання. Випарювання, конструкції та принцип дії випарних апаратів. Теоретичні основи процесів масопередачі. Масообмінні процеси та апарати, які застосовуються під час цього (абсорбери, ректифікаційні й абсорбційні установки).

2 ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

Таблиця 2.1 – Лекційні заняття

Номер теми	Номер лекції	Назва розділу та основні питання, що розглядають на лекції	Посилання на літературу
1	2	3	4
Теоретичні основи хімічних реакторів			
1	1	Загальні відомості про хімічні реактори. Класифікація хімічних реакторів і режимів їхньої роботи. Структура математичної моделі хімічного реактора	[1–4; 6]
2	2	Хімічні реактори з ідеальною структурою потоків. Реактор ідеального змішування. Реактор ідеального витиснення	[1–4; 6]
3	3	Вибір хімічних реакторів з ідеальною структурою потоків. Порівняння ефективності проточних реакторів ідеального змішування та ідеального витиснення. Каскад реакторів ідеального змішування	[1–4; 6]
4	4	Хімічні реактори неідеальної структури потоків. Причини відхилень від ідеальності в проточних реакторах. Моделі реакторів із неідеальною структурою потоків	[1–4; 6]
5	5	Режимні параметри роботи реакторів. Розподілення часу перебування в реакторах неперервної дії. Функції розподілення часу перебування та їхнє експериментальне вивчення. Функції розподілення часу перебування ідеальних і реальних проточних реакторів	[1–4; 6]

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
6	6–8	Теплоперенос у хімічних реакторах ідеального змішування. Рівняння теплового балансу й теплові режими роботи хімічних реакторів. Проточний реактор ідеального змішування в неізотермічному режимі. Періодичний реактор ідеального змішування в неізотермічному режимі	[1–4; 6]
7	9, 10	Теплоперенос у хімічних реакторах ідеального витиснення. Реактор ідеального витиснення в неізотермічному режимі. Теплові режими роботи хімічних реакторів ідеального витиснення	[1–4; 6]
8	11–16	Оптимальність роботи хімічних реакторів. Теплова стійкість роботи хімічних реакторів. Оптимальний температурний режим і способи його здійснення в промислових хімічних реакторах	[1–4; 6]

Таблиця 2.2 – Практичні заняття

Номер заняття	Назва та зміст практичної роботи	Посилання на літературу
1	2	3
Розрахунки гідродинамічних і режимних параметрів твердофазних каталітичних реакторів пневмотранспортного типу та киплячого шару		
1, 2	Визначення середнього діаметра та форми частинок полідисперсної суміші твердого каталізатора	[1]
3, 4	Визначення швидкості витання частинок каталізатора в газовому потоці	[1]
5, 6	Визначення швидкості транспортного потоку та коефіцієнта скловзання	[1]

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
7, 8	Визначення швидкості початку та робочої швидкості псевдозрідження частинок каталізатора	[1]
9, 10	Визначення висоти та порізності псевдозрідженого шару частинок каталізатора	[1]
11, 12	Визначення часу перебування частинок у псевдозрідженому шарі частинок каталізатора	[1]
13, 14	Визначення часу перебування частинок у псевдозрідженому шарі частинок каталізатора	[1]
15, 16	Визначення концентрації дрібних частинок каталізатора в сепараційному просторі апарата та висоти сепараційного простору	[1]

Лекції надають здобувачам здатність демонструвати знання й розуміння засад фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі галузевого машинобудування, та здатність використовувати отримані знання в аналізуванні інженерних об'єктів, процесів і методів. Лекції доповнено практичними заняттями, що дозволяють здобувачам вищої освіти ставити та розв'язувати інженерні завдання галузевого машинобудування з використанням відповідних розрахункових методів і здатність поєднувати теорію та практику для розв'язування інженерного завдання, експериментувати та аналізувати дані. Самостійне навчання дає змогу здобувачам поглиблювати отримані знання в аналізуванні інженерних об'єктів, процесів і методів.

Після успішного вивчення навчальної дисципліни за результатами лекційних занять здобувач вищої освіти може:

- застосовувати знання у практичних ситуаціях;

– застосовувати типові аналітичні методи та комп'ютерні програмні засоби для розв'язування інженерних завдань галузевого машинобудування;

– застосовувати фундаментальні наукові факти, концепції, теорії, принципи для розв'язування професійних завдань і практичних проблем галузевого машинобудування;

– використовувати знання теоретичних основ хіміко-технологічних процесів і принципів роботи хімічних реакторів у хімічній галузі.

Унаслідок засвоєння практичних занять здобувач повинен:

уміти аналізувати типові конструкції хімічних реакторів на предмет вибору більш раціональної для використання в хімічних виробництвах;

уміти виконувати розрахунки режимних і гідродинамічних параметрів роботи твердофазних реакторів хімічних виробництв;

набути навичок застосування знань до розв'язування конкретних наукових задач щодо теоретичних основ хімічних реакторів, самостійного виконання математичних розрахунків, аналізу та обґрунтування одержаних результатів.

Таблиця 2.3 – Питання, винесені для самостійного вивчення здобувачами вищої освіти

Номер завдання	Тема та питання для самостійного вивчення	Посилання на літературу
1	Термодинамічні розрахунки хіміко-технологічних процесів	[1; 5]
2	Закони хімічної кінетики під час вибору технологічного режиму	[1; 5]

3 МЕТОДИ НАВЧАННЯ

1. Лекції (докладне викладання теоретичного навчального матеріалу) із застосуванням мультимедійного проектора, заставок-креслень, плакатів; практичні заняття – робота за індивідуальними завданнями під керівництвом викладача (розв’язання багатоваріантних задач на основі розрахунків на прикладі найпростіших завдань); самостійне опрацювання навчального матеріалу з використанням конспекту лекцій та основної навчальної літератури, робота з довідниками.

2. Виконання індивідуального завдання на основі алгоритмів, опрацьованих на практичних заняттях.

3. Контроль навчальної роботи – контроль із теоретичного матеріалу, спостереження за виконанням практичних робіт і співбесіда під час захисту розрахункових робіт, контроль самостійного виконання індивідуального завдання.

4 МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ

Контроль та оцінювання навчальної роботи здобувача здійснюють за модульно-рейтинговою системою. Методи поточного формативного оцінювання: 1) настанови викладача в процесі виконання практичних завдань; 2) обговорення та самокорекція виконаної роботи здобувачами; 3) опитування та усні коментарі викладача за його результатами; 4) перевірка та оцінювання письмових завдань. Методи підсумкового сумативного оцінювання: 1) поточні контрольні роботи (проміжний модульний контроль); 2) виконання індивідуальних розрахунково-аналітичних завдань; 3) звіт за результатами виконання практичних робіт.

5 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ДО МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

1. У чому полягає метод моделювання?
2. Сформулюйте основні вимоги, що висуваються до математичної моделі хімічного реактора.
3. У чому полягає ієрархічний принцип моделювання хімічних процесів і реакторів?
4. Які ознаки можуть бути покладені в основу класифікації хімічних реакторів?
5. Які відмінності в умовах перемішування в проточних реакторах змішування та витиснення?
6. Який режим роботи хімічного реактора називається стаціонарним? Чи можливий стаціонарний режим у періодично-му реакторі? У напівбезперервному реакторі?
7. Які умови має задовольняти елементарний об'єм, для якого складаються балансові рівняння?
8. Яким має бути елементарний проміжок часу під час складання балансових рівнянь для реакторів, що працюють у стаціонарному режимі; нестаціонарному режимі?
9. Чому саме балансові рівняння (рівняння матеріального й енергетичного балансів) становлять основу математичної моделі хімічного реактора?
10. Якими математичними операторами описано перенесення імпульсу та масоперенос?
11. Чому за стаціонарного режиму роботи хімічного реактора в ньому не відбувається накопичення речовини й теплоти?
12. Сформулюйте допущення моделі ідеального змішування.
13. Які основні причини відхилення від ідеальності в реальних реакторах змішування?
14. Чому під час складання балансових рівнянь для реактора ідеального змішування за елементарний об'єм може бути взято повний об'єм реактора?
15. Складіть рівняння матеріального балансу для періодичного реактора ідеального змішування.

16. Проаналізуйте основні недоліки та переваги реактора періодичної дії. У яких виробництвах здебільшого трапляються такі реактори?

17. Складіть рівняння матеріального балансу для стаціонарного проточного реактора ідеального змішування.

18. У чому полягає відмінність між дійсним і середнім часом перебування реагентів у проточному реакторі? Для якого типу проточних реакторів дійсний і середній час перебування збігаються?

19. У яких випадках з'являється необхідність графічного розв'язування рівняння матеріального балансу проточного реактора ідеального змішування для визначення концентрації реагенту на виході з реактора? У чому суть такого розв'язання?

20. Сформулюйте припущення моделі ідеального витиснення. За яких умов можна наблизитися в реальному реакторі до ідеального витиснення?

21. Чому за ламінарної течії реакційного потоку в проточному реакторі режиму ідеального витиснення не може бути досягнуто?

22. Складіть рівняння матеріального балансу реактора ідеального витиснення в диференціальній формі. Які явища перенесення (імпульсу, теплоти, маси) відображено в цьому рівнянні?

23. Назвіть основну причину, через яку для досягнення того самого ступеня перетворення за однакових умов проведення реакції в проточному реакторі ідеального змішування потрібен істотно більший час перебування реакційної суміші, ніж у реакторі ідеального витиснення або в періодичному реакторі ідеального змішування.

24. Проаналізуйте переваги й недоліки проточного реактора, режим якого близький до ідеального змішування, порівняно з реактором, режим у якому близький до ідеального витиснення.

25. Сформулюйте основні припущення моделі каскаду реакторів ідеального змішування.

26. Доведіть, що модель каскаду реакторів ідеального змішування є проміжною між моделями ідеального витиснення та ідеального змішування.

27. У чому полягають принципові відмінності в умовах теплообміну для ізотермічного й адіабатичного режимів роботи реактора?

28. Складіть систему рівнянь матеріального й теплового балансів для ізотермічного реактора ідеального змішування.

29. Чому не можна знайти аналітичний розв'язок системи рівнянь матеріального й теплового балансів адіабатичного реактора ідеального змішування, що працює в стаціонарному режимі, щодо температури в реакторі і ступеня перетворення, що досягається в ньому?

30. Використовуючи графічний розв'язок системи рівнянь матеріального й теплового балансів адіабатичного реактора ідеального змішування, проаналізуйте можливості збільшення ступеня перетворення, що досягається в реакторі, у разі проведення в ньому:

- а) необоротної реакції;
- б) оборотної ендотермічної реакції;
- в) оборотної екзотермічної реакції.

31. Знайдіть графічний розв'язок системи рівнянь матеріального й теплового балансів реактора ідеального змішування проміжного типу в разі проведення в ньому оборотної ендотермічної реакції.

32. Складіть алгоритм і схему розрахунку на ЕОМ зміни в часі температури в періодичному реакторі ідеального змішування із сорочкою обігріву під час проведення в ньому необоротної ендотермічної реакції першого порядку.

33. Складіть алгоритм і схему розрахунку на ЕОМ розподілу ступеня перетворення по довжині реактора ідеального витиснення із проміжним тепловим режимом у разі проведення в ньому незворотної екзотермічної реакції першого порядку.

34. Яку величину обирають як критерій оптимізації під час розроблення оптимального температурного режиму? Обґрунтуйте зроблений вибір.

35. Як можна побудувати робочу лінію проведення оборотної екзотермічної реакції в послідовно з'єднаних адіабатичних реакторах витиснення з проміжним тепловідведенням?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дисципліна «Теоретичні основи процесів хімічної інженерії». Навчальна платформа МІХ СумДУ.
2. Знак З. О. Загальна хімічна технологія (окремі розділи) : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. 144 с.
3. Бойко В. І., Шафорост Ю. А. Процеси і апарати сучасної хімічної технології : навчальний посібник. Черкаси : Видавничий відділ ЧНУ, 2013. 88 с.
4. Конспект лекцій з дисципліни «Загальна хімічна технологія» для студентів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / укладач А. В. Іванченко. Кам'янське : ДДТУ, 2016. 80 с.
5. Гетерогенні рівноваги в хімічній інженерії : навч. посібник / С. І. Руднєва, М. Д. Сахненко, А. В. Дженюк. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 116 с.
6. Coulson and Richardson's Chemical Engineering, Fourth Edition: Volume 3A: Chemical and Biochemical Reactors and Reaction Engineering. By R. Ravi, R. Vinu, S. N. Gummadi. IChemE, 2017. 591 Pages (<https://www.pdfdrive.com/coulson-and-richardsons-chemical-engineering-fourth-edition-volume-3a-chemical-and-biochemical-reactors-and-reaction-engineering-e158316586.html>).

Електронне навчальне видання

Методичні вказівки
щодо вивчення дисципліни
«Теоретичні основи процесів хімічної інженерії»
для здобувачів спеціальності 133 *«Галузеве машинобудування»*
освітньої програми **«Комп'ютерний інжиніринг обладнання**
хімічних виробництв»
усіх форм здобуття вищої освіти

Відповідальний за випуск В. І. Склабінський
Редакторка І. О. Кругляк
Комп'ютерне верстання М. П. Юхименка

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 0,93. Обл.-вид. арк. 0,44.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.