Національна академія наук України

ІНСТИТУТ ГАЗУ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Інституту газу
НАН України
член-кореспондент НАН України,
д.т.н., проф.
_____ Г.В. Жук
«30» вересня 2026 р.

Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

підготовки _____доктора філософії_____
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності __144 “Теплоенергетика ”_____
(шифр і назва)

та

спеціальності _G4 Енерговиробництво (за спеціалізацією)_____
(шифр і назва)

спеціалізація _G4.02 Теплоенергетика_____
(шифр і назва)

Ухвалено Вченою радою Інституту газу НАН України

Протокол № 11 від 30 вересня 2026 року

Голова _____ Г.В. Жук
(підпис) (ініціали, прізвище)

30.09.2026 року

Вводиться в дію з « 01 » жовтня 2026 року.

КИЇВ – 2026

Робоча програма навчальної дисципліни «Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції» (силабус) для аспірантів за спеціальністю 144 «Теплоенергетика», галузі знань 14 «Електрична інженерія», третього освітньо-наукового рівня доктор філософії в галузі електричної інженерії, за денною/заочною формою навчання.

Робоча програма навчальної дисципліни «Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції» (силабус) для аспірантів за спеціальністю G4 Енерговиробництво (за спеціалізацією), спеціалізація G4.02 «Теплоенергетика» в галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво, третього освітньо-наукового рівня доктор філософії, за денною/заочною формою навчання.

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук Є.В. Стратівнов
(посада, наукова ступінь, вчене звання, ПІБ)

Академік НАН України, д.т.н., проф. Бондаренко Борис Іванович
(посада, наукова ступінь, вчене звання, ПІБ)

Ст. н. с., канд. техн. наук, доцент Сидоренко Сергій Вікторович
(посада, наукова ступінь, вчене звання, ПІБ)

1. Опис кредитного модуля

<table>
<tr><th>Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень</th><th>Загальні показники</th><th>Характеристика кредитного модуля</th></tr>
<tr><td>Галузь знань:
14 «Електрична інженерія»
G «Інженерія, виробництво та будівництво»</td><td>Назва навчальної дисципліни, до якої належить кредитний модуль
«Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції»</td><td>Форма навчання
денна / заочна</td></tr>
<tr><td>Спеціальність:
144 «Теплоенергетика»
G4 Енерговиробництво (за спеціалізацією)</td><td>Кількість кредитів ECTS – 1</td><td>Статус кредитного модуля
Нормативна частина підготовки</td></tr>
<tr><td>Спеціалізація:
G4.02 Теплоенергетика</td><td>Кількість розділів – 2</td><td>Цикл до якого належить кредитний модуль
Професійної підготовки</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Освітньо-науковий рівень: доктор філософії</td><td></td><td>Рік підготовки: 2-й.
Семестр: 4-й.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Загальна кількість 30 год.</td><td>Лекції 5 год.</td></tr>
<tr><td>Практичні (семінарські) 5 год.</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>Самостійна робота 20 год.
У тому числі на виконання індивідуального завдання 10 год.</td></tr>
<tr><td>Вид та форма семестрового контролю:
Диференційований залік</td></tr>
</table>

Кредитний модуль «Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції» входить до нормативної частини загальної підготовки та має важливе значення у підготовці фахівця з теплоенергетики. У структурно-логічній схемі програми підготовки з даного напряму навчальна дисципліна «Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції» забезпечує інші навчальні дисципліни у програмі підготовки фахівця, які потребують знань, щодо масопередачі, основ процесів сорбції, десорбції, адсорбції.

Загальний курс кредитного модуля «Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції» становить невід'ємну складову наукової та інженерної освіти спеціаліста з теплоенергетики.

2. Мета та завдання кредитного модуля

2.1. Метою кредитного модуля є формування у аспірантів здатностей:

- логічного мислення, розвиток інтелектуальних здібностей;
- виховання у здобувачів науково-технічної культури, необхідної ерудиції та інтуїції у питаннях прикладного застосування інженерно фізичних знань;
- застосування інженерно фізичних знань у розв'язанні інженерних розрахунків;
- доводити розв'язок задачі до практично прийнятного результату – числа, графіка, якісного висновку із застосуванням довідників, таблиць, обчислювальних засобів;
- самостійно вивчати літературу з дисципліни «Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції»;
- вироблення навичок аналізувати і застосовувати одержані результати.

2.2.Основні завдання кредитного модуля.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни аспіранти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

знання :

- законів молекулярної та конвективної дифузії, матеріальних балансів масообмінних апаратів;
- гіпотетичних моделей масопередачі;
- критеріїв подібності масообміну;.
- масоперенос в капілярно-пористих тілах;
- структури капілярно-пористих тіл;
- механізму переносу речовини в капілярно-пористих тілах;
- масопровідність, узагальнене критеріальне рівняння масопровідності. вологопровідність.

уміння:

- здійснювати класифікацію масообмінних процесів стосовно до конкретних технологій переробки дисперсних матеріалів;
- визначення основних розмірів масообмінного обладнання та його гідродинамічних параметрів;

– проводити теоретичні і експериментальні дослідження процесів активації вуглецевих сорбентів;

досвід:

– навчитися працювати з інформаційними ресурсами, підручниками, довідниками та інш.;
– навчитися розв’язувати технічні задачі, одержані в результаті математичного моделювання процесів;
– використовувати методи теорії масопепередачі, основ процесів сорбції, десорбції, адсорбції при розв’язуванні наукових, технологічних, управлінських та інших задач.

Інтегральна компетентність: Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми у теплоенергетичній галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності, застосовувати методологію наукової та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Загальні компетентності, яких набуває здобувач:

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК03. Здатність розв’язувати комплексні проблеми у сфері теплоенергетики на основі системного наукового світогляду та загального культурного світогляду із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

Спеціальні (фахові) компетентності, яких набуває здобувач:

С(Ф)К01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері теплоенергетики та дотичних до неї міждисциплінарних напрямах

С(Ф)К04. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у сфері теплоенергетики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень

С(Ф)К05. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в теплоенергетиці та дотичні до неї міждисциплінарні проєкти, проявляти лідерство під час їх реалізації.

С(Ф)К06. Здатність розуміти сучасні проблеми науково-технічного та екологічного аспектів розвитку енергетики, знати сучасні технології енерго-, еколого- та ресурсозбереження.

Програмні результати навчання (ПРН):

ПРН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з теплоенергетики і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з теплоенергетики, отримувати нові знання та/або здійснювати інновації.

ПРН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з теплоенергетики та дотичних міждисциплінарних напрямів із використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН06. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проєкти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми теплоенергетики з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.
ПРН09. Проводити критичний аналіз різних інформаційних джерел конкретних освітніх, наукових та професійних текстів в сфері обраної спеціальності; вміння виявляти теоретичні та практичні проблеми, а також дискусійні питання в конкретних освітніх, наукових та професійних текстах в сфері теплоенергетики, критично сприймати та аналізувати чужі думки та ідеї, шукати власні шляхи вирішення проблеми.
ПРН16. Здійснювати класифікацію масообмінних процесів стосовно до конкретних технологій переробки дисперсних матеріалів; визначати основні розміри масообмінного обладнання та його гідродинамічні параметри. Уміти проводити теоретичні і експериментальні дослідження процесів активації вуглецевих сорбентів.

3. Структура кредитного модуля

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практ. (семін.)	Лаборант. (комп.пр.)	СРА
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Розділ 1. Масообмінні процеси.					
Тема 1.1. Основи процесів сорбції і десорбції	9	2	2	-	5
Тема 1.2. Принципи розрахунку масообмінних процесів	11	1	1	-	9
Разом за розділом 1	**20**	**3**	**3**	**-**	**14**
Розділ 2. Адсорбція.					
Тема 2.1. Теоретичні основи процесу адсорбції. Розрахунок адсорберів	4	1	1	-	2
Тема 2.2. Методи визначення питомої поверхні і мікропористості адсорбентів	6	1	1	-	4
Разом за розділом 2	**10**	**2**	**2**	**-**	**6**
ВСЬОГО	**30**	**5**	**5**	**-**	**20**

4. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів[1], посилання на літературу та завдання на СРА)
1	Закони молекулярної та конвективної дифузії. Гіпотетичні моделі масопередачі. Поверхневі та об'ємні коефіцієнти масопередачі, зв'язок між ними. Критерії подібності масообміну. Критеріальне рівняння конвективного масопереносу. *Завдання на СРА:* Класифікація масообмінних процесів. Способи вираження складу фаз. Рівновага при масопередачі. ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції" : Лекція №1*** **Розділ 1-7**
2	Матеріальний баланс масообмінних апаратів. Визначення основних розмірів масообмінних апаратів. Основне рівняння масопередачі. Рушійна сила масообмінних процесів. *Завдання на СРА:* Рівняння робочої лінії процесу масопереносу. Основні критеріальні рівняння масопереносу. Аналіз шляхів інтенсифікації масообмінних процесів. ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції"*: *Лекція №2*** **Розділ 8-18**
3	Фізична і хімічна адсорбція. Матеріальний баланс адсорбції. Рівняння кінетики адсорбції. Типи і рівняння ізотерм сорбції. *Завдання на СРА:* Розрахунки адсорбції в рухомих шарах адсорбента. ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції"*: *Лекція №3*** **Розділ 19-25**
4	Методи визначення питомої поверхні і пористості адсорбентів . Теорія об'ємного заповнення мікропор М.М. Дубінінна *Завдання на СРА:* Класифікація адсорбентів по розмірам пор. ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції"*: *Лекція 4*:** **Розділ 26-31**

5. Практичні заняття

[1] Основними дидактичними засобами на лекції є дошка, крейда. Технічних засобів проведення лекцій не передбачено.

Основні завдання циклу практичних занять: навчитися застосовувати теоретичні знання до розв'язування практичних задач, виробити навички роботи з інформаційними ресурсами і оволодіти методами дисципліни «Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції» для розв'язування задач, що виникають в результаті моделювання фізико-технічних та хіміко-технологічних процесів.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення[2], посилання на літературу та завдання на СРА)
1	Способи вираження складу фаз: 1) абсолютно масові, об'ємні, мольні відсотки (частки); 2) відносних масових або мольних часток; 3) у парціальних тисках газових компонентів. Приклади розрахунку *Рекомендовані завдання на СРА Рушійна сила масообмінних процесів* ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції"*: *Лекція 1* : Розділ1,2 4**
2	Способи вираження складу фаз: двухкопонентних систем «рідина-газ(пара)». Формули для перерахунку різних способів вираження концентрацій в рідинній фазі. *Рекомендовані завдання на СРА* Гіпотетичні моделі масопередачі.], ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції"*: *Лекція1* : Розділ 3,4 Лекція2 Розділ10**
3	Подібність масообмінних процесів. Критерії подібності масообміну і їх отримання: $Nu_д$, $Fo_д$, $Pe_д$, $Pr_д$. *Рекомендовані завдання на СРА* Методики розрахунку висоти (довжини) масообмінних апаратів. ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції"*: Лекція2 Розділ12-16**
4	Критеріальне рівняння масовіддачі для несталого процесу. *Рекомендовані завдання на СРА* Критеріальне рівняння конвективного масопереносу. ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції"*: *Лекція 2*: Розділ 12,13**
5	Визначення основних розмірів масообмінних апаратів. *Рекомендовані завдання на СРА* Матеріальний баланс масообмінних апа-

[2] Проведення практичних занять не передбачає застосування технічних дидактичних засобів. Основними дидактичними засобами на практичних заняттях є конспект лекцій, підручник, збірник задач.

	ратів. ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції"*: *Лекція2* Розділ8 ,13-16**
6	Розрахунки адсорбції в рухомих шарах адсорбента *Рекомендовані завдання на СР* Методики розрахунку висоти (довжини) масообмінних апаратів. ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції"*: *Лекція2* : Розділ 14-16 ,Лекція3 Розділ23,24**
7	Методика розрахунку розмірів колонних масообмінних апаратів по числу теоретичних тарілок. *Рекомендовані завдання на СРА* Основні моделі масопередачі. ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції"*: *Лекція 2*: Розділ 16**
8	Матеріальний баланс адсорбції *Рекомендовані завдання на СРА* Методи визначення питомої поверхні і пористості адсорбентів ***Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції"*: *Лекція3* : Розділ 20 Лекція4 Розділ29,31**
9	***Залік***

6. Рекомендований перелік лабораторних робіт (комп'ютерних практикумів)

Не передбачено.

7. Самостійна робота

Самостійна робота повинна бути спрямована на огляд наукової літератури щодо сучасного стану технологій, що використовуються на існуючих ТЕС, ТЕЦ та перспективних для впровадження підприємствами теплоенергетичного комплексу України.

8. Індивідуальні завдання

Індивідуальне завдання (як правило, одне) визначається під час роботи на практичних (семінарських) заняттях і складається з розрахункової задачі по одній з тем, що розглядаються на практичних заняттях.

9. Засоби діагностики успішності навчання

Диференційований залік з навчальної дисципліни проводиться на останньому практичному занятті курсу у вигляді іспиту-співбесіди.

До диференційованого заліку допускається здобувач, який виконав необхідні умови допуску (див.розділ 10).

10. Рейтингова система оцінювання

Рейтинг аспіранта з кредитного модуля складається з балів, що він отримує за поточну роботу на практичних семінарських заняттях та за виконання індивідуального завдання (з врахуванням штрафних та заохочувальних балів), всього максимально 100 балів:

Робота на практичних (семінарських) заняттях:

Ваговий бал – 10. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює 10 балів х 5 відповідей – 50 балів.

Критерії оцінювання

- «Відмінно», повна і вичерпна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 10 балів.
- «Добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – 8 балів.
- «Задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) – 6 балів.
- «Незадовільно», в усіх інших випадках – 0 балів.

Виконання індивідуального завдання:

Максимальна кількість балів складає – 50 балів.

Штрафні бали: знімається по 1 балу за відсутність без поважної причини на практичних заняттях або непідготовленість до них (максимально 5 балів).

Заохочувальні бали: додається по 1 балу за удосконалення дидактичного матеріалу, що відповідає одній лекції (практичному заняттю) курсу або активну участь у роботі на практичному занятті (максимально 5 балів). За участь у наукових конференціях додається 1 бал, виступу із доповіддю – 3 бали, публікацію статті – 5 балів (якщо загальна кількість балів рейтингу аспіранта з кредитного модуля вже досягла 100 балів, то заохочувальні бали не нараховуються).

Допуск до диференційованого заліку:

Аспірант допускається до диференційованого заліку у випадку, якщо за курс дисципліни на практичних семінарських заняттях набрано не менше 60 балів (з врахуванням штрафних та заохочувальних балів).

Максимальна кількість балів за складання диференційованого заліку складає – 100 балів.

Фінальний рейтинг (оцінка) за дисципліну складається з суми балів набраних за поточну роботу на практичних семінарських заняттях та за виконання індивідуального завдання (з врахуванням штрафних та заохочувальних балів) помножених на ваговий коефіцієнт 0,5 та оцінки за диференційований залік (за 100 бальною шкалою) помноженим на ваговий коефіцієнт 0,5 (всього максимально 100 балів).

Відповідність між балами шкали ECTS та традиційними оцінками:

Рейтинг	**Оцінка ECTS**	**Традиційна оцінка**
Від 95 до 100	A – відмінно	відмінно
Від 85 до 94	B – дуже добре	добре
Від 75 до 84	C – добре	
Від 65 до 74	Д – задовільно	задовільно
Від 60 до 64	E – достатньо	
Від 40 до 59	FX – незадовільно	незадовільно
Від 0 до 39	F – незадовільно, потрібна додаткова робота	Не допущено

11. Методичні рекомендації

Послідовність вивчення тем та їх розподіл узгоджуються із викладачами суміжних дисциплін. Строгість та детальність викладання розділів та тем навчальної програми вирішується відділом.

11.1 Методика вивчення кредитного модуля

На початку викладання лекційного матеріалу з нової теми бажано дати цілісну і повну характеристику розділу і теми, навести ключові слова і основні поняття, які розглядатимуться. Далі деталізувати матеріал, навести строгі означення, сформулювати принципи та положення з даної теми і, по можливості, обгрунтувати. Запропонувати аспірантам деякі факти обгрунтувати самостійно. Проілюструвати теоретичний матеріал прикладами. Звернути особливу увагу на ключові моменти обгрунтування.

11.2. Рекомендації, щодо забезпечення наочності навчальних занять

11.2.1. Для забезпечення наочності лекцій можливо навести приклади відповідних практичних застосувань стосовно матеріалу, що вивчається. Використовувати знаково-символічні засоби – формули, графіки, рисунки, що дає змогу виокремити суть предмета вивчення, тобто сприяє розвитку мислення й уяви.

11.2.2. На початку практичних занять необхідно повторити ключові означення і поняття з теоретичного матеріалу, користуючись конспектом лекцій, підручником чи посібником. Спираючись на приклади, наведені у лекціях, індивідуально розв’язувати задачі, які пропонує викладач зі збірників або методичних рекомендацій до практичних робіт. На початку або вкінці практичного заняття можливо провести невелику самостійну роботу. Результати оголосити на наступному занятті.

11.3. Застосування нових технологій навчання

Використання комп'ютерних технологій допоможе аспіранту у перевірці правильності виконання задач, а також пошуку додаткової інформації для їх розв'язування.

11.4. Використання методичних прийомів і засобів, рекомендацій щодо методики проведення занять

Доречно пропонувати аспірантам самостійно розглянути деякі питання теми лекції, вказати підручники та інформаційні ресурси, де можливо поглиблено ознайомитись з введеними поняттями, навести історичні факти, які призвели до появи нових понять.

Кожне практичне заняття проводиться тільки після розгляду відповідної теми на лекції. За спільного бажання аспірантів і лектора можливе проведення проблемної лекції або лекції у формі наукового диспута.

Домашня контрольна робота та норми її оцінювання видаються аспірантам завчасно. Прийом роботи здійснюється до кінця терміну, зазначеного викладачем. Методичні вказівки до виконання домашньої контрольної роботи додаються до робочої навчальної програми.

12. Рекомендована література

1. Корнієнко Я.М. та ін. Процеси та обладнання хімічної технології: К.; НТУУ «КПІ», 2011.- Ч.2 – 416 с.
2. Товажнянский Л.Л., Гатлинська А.П., Лещенко В.О. та ін. Процеси та апарати хімічної технології У 2 ч. Харків: НТУУ «ХПІ», – 2007р.
3. Методичні розробки до курсу: "Масопередача: основи процесів сорбції, десорбції, адсорбції": лекції, задачі, приклади розв'язку задач.
4. Tien, C. (2018). *Introduction to Adsorption: Basics, Analysis, and Applications*. Elsevier. ISBN 978-0128164464. perlego.com
5. *Environmental Treatment Technologies-Adsorption*. In *Handbook of Environmental Materials Management* (2018). Springer. Chapter: Basics of adsorption, kinetics, equilibrium, desorption, fixed-bed adsorbers. SpringerLink
6. Myers, T. G., Font, F., & Hennessy, M. G. (2020). *Mathematical modelling of carbon capture in a packed column by adsorption*. Preprint. arXiv
7. Zheng, J., Yang, C., Xue, M., Li, X., & Zhao, X. (2024). Mass transfer kinetics of volatile organic compound desorption from a novel adsorbent. *Processes*, 12(9), 2031. https://doi.org/10.3390/pr12092031 MDPI
8. Іваненко, І. М., Донцова, Т. А., & Феденко, Ю. М. (2018). Адсорбція, адсорбенти і каталізатори на їх основі [Підручник для студентів спеціальності «Хімічні технології та інженерія»]. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. URL: https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/4387db1a-cd0a-4e45-b951-bf72e7880806/content
9. Ярощук, Л. Д. (2023). Керування адсорбційним відновленням відпрацьованих мастил: сорбція — десорбція — регенерація [Навчальний посібник / стаття в репозитарії]. URL: https://ela.kpi.ua/bitstreams/ad3278bf-3f68-4895-964d-4c8779157883/download.

10. Мікульонок І.О. Механічні, гідромеханічні й масообмінні процеси та апарати хімічної технології.: Навч.посібник.- К.:ІЗМН, 1998.- 248 с.
11. Процеси та апарати хімічних технологій. Навчальний посібник / Я. М. Ханик, І. О. Гузьова, Т. І. Римар, Л. З. Білецька; За ред. Я. М. Ханика. Серія “Дистанційне навчання”. № 48. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. 300 с.
12. Приклади і задачі з курсу тепло масообміну. Навчальний посібник.Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. 228 с.
13. Rahman, M. A., Lamb, D., Kunhikrishnan, A., & Rahman, M. M. (2021). Kinetics, isotherms and adsorption–desorption behavior of phosphorus from aqueous solution using zirconium–iron and iron modified biosolid biochars. *Water*, 13(23), 3320. https://doi.org/10.3390/w13233320 MDPI
14. Petryk, M. R., Boyko, I. V., Mykhalyk, D. M., Petryk, M. M., Lutsyk, N. S., & Kovbashyn, V. I. (2017). Mathematical modeling of processes of nonisothermal adsorption, desorption and heat transfer of hydrocarbons in nanoporous catalysts based on zeolite ZSM-5 of exhaust gas neutralization systems. *TNTU Scientific Journal*, 85(4), 191-198.
15. Болшаніна, О. В. (2019). Сорбційні процеси за участю природних та синтетичних мінералів [Навчальний матеріал]. URL: https://chem.teset.sumdu.edu.ua/images/articles/Bolshanina_science_topic.pdf
16. Дейниченко, В. Г. (2024). Процеси та апарати харчових виробництв: масоперенос, десорбція в технологіях переробки [Навчальний посібник]. URL: https://vpu36balin.km.ua/wp-content/uploads/2024/10/%D0%9F%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D0%B8.-%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA.-filimonova.pdf
17. «Радіоекологія — Явище адсорбції та адсорбенти» (2017–2019). Навчальний посібник / методичні матеріали. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/65040/1/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D0%AF%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B5%20%D0%B0%D0%B4%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%B1%D1%86%D1%96%D1%97%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B0%D0%B4%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8.pdf