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.

Тепломасообмін і гідродинаміка в технологічному устаткуванні

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 «Тепломасообмін і гідродинаміка в технологічному устаткуванні» (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 «Тепломасообмін і гідродинаміка в те-хнологічному устаткуванні» (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:

Завідувач відділу, старший дослідник, кандидат технічних наук О.І.Ховавко
(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
«Тепломасообмін і гідродинаміка в технологічному устаткуванні»</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 – 4</td><td>Цикл до якого належить кредитний модуль
Професійної підготовки</td></tr>
<tr><td rowspan="4">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>Самостійна робота 20 год.
У тому числі на виконання індивідуального завдання 10 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>Вид та форма семестрового контролю:
Диференційований залік</td></tr>
</table>

Кредитний модуль «Тепломасообмін і гідродинаміка в технологічному устаткуванні» 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 «Тепломасообмін і гідродинаміка в технологічному устаткуванні» забезпечує інші навчальні дисципліни у програмі підготовки фахівця, які потребують знань, щодо тепломасообміну і гідродинаміки в технологічному устаткуванні.

Загальний курс кредитного модуля «Тепломасообмін і гідродинаміка в технологічному устаткуванні» 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 науково-технічних знань;
- застосування методологічних 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 «Тепломасообмін і гідродинаміка в технологічному устаткуванні»;
- вироблення навичок аналізувати, узагальнювати 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 :

- основних законів теплопередачі, особливостей теплопередачі в теплотехнічних агрегатах залежно від їх призначення;
- застосування теорії подібності для моделювання теплових процесів;
- теплообмін при наявності хімічних реакцій;
- теплообмін в киплячому та фонтануючому шарі;
- теплообмін при конденсації, контактний теплообмін;
- нестаціонарна теплопровідність.

уміння:

- у здійсненні аналізу теплових процесів і створенні нових технологій та апаратури для їх реалізації стосовно до засобів теплового захисту теплових агрегатів;
- створення установок на основі контактного теплообміну, зокрема конденсаційних котлів;
- використовувати знання особливостей теплообміну в розплавах для розроблення установок газифікації органічних сполук;

досвід:

- навчитися працювати з інформаційними ресурсами, підручниками, довідниками та інш.;
- навчитися розв'язувати технічні задачі, одержані в результаті математичного моделювання процесів;
- використовувати методи тепломасообміну і гідродинаміки в технологічному устаткуванні 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.

ПРН14. Уміти здійснювати аналіз теплових процесів і створювати нові технології та апаратуру для їх реалізації стосовно засобів теплового захисту теплових агрегатів. Створювати установки на основі контактного теплообміну, зокрема конденсаційних котлів. Використовувати знання особливостей теплообміну в розплавах для розроблення установок газифікації органічних сполук.

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. Класифікація процесів й апаратів хімічної технології .					
Тема 1.1. Класифікація процесів й апаратів хімічної технології на основі термодинамічних та кінетичних закономірностей		1			1
Тема 1.2. Основні принципи розрахунку апаратів хімічної технології			1		1
Розділ 2. Основи гідромеханіки					
Тема 2.1. Основні поняття гідродинаміки. Матеріальний баланс потоку (рівняння нерозривності потоку). Енергетичний баланс потоку. Режими руху вязкої рідини. Основні поняття теорії подоби.		1			1
Тема 2.2. Рух рідин по трубопроводах. Витікання рідин через отвори й водозливи.			1		1

Плівкова течія рідин. Рух тіл у рідині. Рух рідин через зернистий і пористий шари. Гідравліка киплячого (псевдозрідженного) шару					
Тема 2.3. Контроль параметрів рідин і газів. Прилади для вимірювання рівня рідини, тиску рідини й газу, витрати рідини й газу.					4
Розділ 3. Основи теплопередачі					
Тема 3.1. Загальні відомості. Рівняння теплового балансу. Визначення теплового навантаження апарата при нагріванні й охолодженні без зміни агрегатного стану, при зміні агрегатного стану.		1			1
Тема 3.2. Рівняння передачі тепла. Рівняння теплопровідності. Рівняння передачі тепла конвекцією. Передача тепла через стінку. Визначення температури стінки.		1			1
Тема 3.3. Теплопередача при перемінних температурах. Напрямок току теплоносіїв. Середній температурний напір.			1		1
Тема 3.4. Конвекція. Різні види конвекції. Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі на основі крітеріальних рівнянь.					4
Тема 3.5. Променистий теплообмін. Теплообмін випромінюванням між тілами. Випромінювання газів. Спільна пе-редача тепла конвекцією й випромінюванням. Втрати тепла в навколишнє середовище.			1		1
Розділ 4. Основні поняття масообмінних процесів					
Тема 4.1. Класифікація масо-		1			2

обмінних процесів. Масообін при відсутності рівноваги. Масообмін між фазами в системі «рідина – газ (пара)». Матеріальний баланс.					
Тема 4.2. Основні принципи розрахунку масообмінних апаратів. Аналітичний розрахунок геометричних розмірів апарата.			1		2
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	***Класифікація процесів й апаратів хімічної технології.*** Термодинамічна та кінетичнах закономірність класифікації. Основні принципи розрахунку апаратів хімічної технології *Рекомендована література* [1,2;]
2	***Основи гідромеханіки, основи теплопередачі.*** Матеріальний баланс потоку. Енергетичний баланс потоку. Основні поняття теорії подоби. Рівняння теплового балансу. Контроль параметрів рідин і газів. Рівняння теплового баланс. Рівняння передачі тепла. Рівняння теплопровідності. Рівняння передачі тепла конвекцією. *Рекомендована література* [1,2,4;]
3	***Основні поняття масообмінних процесів.*** Класифікація масообмінних процесів. Матеріальний баланс. Основні принципи розрахунку масообмінних апаратів. Аналітичний розрахунок геометричних розмірів апарата. *Рекомендована література* [2-5;]

5. Практичні заняття

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

№	Назва теми заняття та перелік основних питань

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

з/п	(перелік дидактичного забезпечення[2], посилання на літературу та завдання на СРА)
1	***Теплообмінники.*** Технологічний розрахунок теплообмінних апаратів, тепловий баланс теплообмінного апарата. *Рекомендована література:*
2	***Теплообмінники. Розрахунок поверхні теплообмінного апарату і теплового навантаження, проектний та перевірочний розрахунки.*** ***Рекомендована література:***
3	***Ректифікаційні колони. Матеріальні і теплові баланси, розрахунок температури в основних перерізах колони, розрахунок переливних пристроїв.*** ***Рекомендована література: 3, 4, 5, 6.***
4	***Ректифікаційні колони. Гідравлічний розрахунок насадкової колони, розрахунок швидкості пари в колоні, розрахунок опору насадкової колони.*** ***Рекомендована література: 3, 4, 5, 6.***
5	***Трубчасті печі. Гідравлічний розрахунок змійовика трубчастої печі, розрахунок газового опору і тяги, розрахунок поверхонь нагріву радіантної та конвективної секцій змійовика.*** ***Рекомендована література: 3, 4, 5, 6.***
6	***Трубчасті печі. Технологічний розрахунок трубчастих печей Розрахунок нагрівальної печі. Розрахунок нагрівальної реакційної печі.*** ***Рекомендована література: 3, 4, 5, 6.***
7	***Екстракційна апаратура. Розрахунок основних розмірів екстракційної колони, розрахунок числа теоретичних робочих тарілок екстракційної колони.*** ***Рекомендована література : 3, 4, 5, 6.***
8	***Рівновага фаз. Розрахунок констант фазової рівноваги, аналітичний розрахунок процесу одноразового випаровування.*** ***Рекомендована література: 3, 4, 5, 6.***
9	***Залік***

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

Не передбачено.

7. Самостійна робота

Завдання на самостійну роботу аспіранта визначається лектором індивідуально за наслідками засвоєння тем лекцій та практичних (семінарських занять).

8. Індивідуальні завдання

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

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, якій 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, індивіду-

ально 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. Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок, В.Л. Ракицький, Г.Л.Рябцев./ Процеси та обладнання хімічної технології К.: НТУУ «КПІ», 2011. – [Ч. 1. – 300 с.; Ч. 2.-416 с.] Підручник.
2. Процеси та обладнання хімічних технологій – 1. Базові принципи теорії тепломасообміну: навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А.Р. Степанюк, С.В. Гулієнко – Електронні текстові данні (1 файл: 3,57 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 160 с.
3. Лукач Ю.Ю., Мікульонок І.О., Рябцев Г.Л., Сезонов М.В. Теплові процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв. Розділ перший: Навч. посібник. – 2000
4. Лукач Ю.Ю., Мікульонок І.О., Ракицький В.Л., Рябцев Г.Л. Теплові процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв. Розділ другий: Навч. посібник. – 2002
5. Мікульонок І.О. Механічні, гідромеханічні й масообмінні процеси та обладнання хімічної технології: Навч. посібник. – К., ІВЦ "Політехніка", 2002. – 304 с.; навч. посібник. – 2004
6. Ракицький В.Л., Мікульонок І.О., Рябцев Г.Л. Основи проектування насадкових ректифікаційних колон. Навч. посібник. – 2000

7. Процеси та апарати хімічних виробництв 1. Технічна гідравліка. Основи теплопередачі. Теплообмінне обладнання Метод. вказівки до виконання розрахункової роботи студентів з дисципліни «Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів галузі знань 16 Хімічна та біоінженерія/ Укладач: Т.Б. Шилович. – К.: НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», 2016.
8.Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с.
9. Мікульонок І. О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології : підруч. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340 с.
10. Мікульонок І. О. Механічні процеси, апарати і машини хімічної технології. Практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс] : навч. посіб. (1 файл: 0,808 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 54 с. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30125
11. Мікульонок І. О., Казак І. О. Гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології. Практикум з навчальної дисципліни: навч. посіб. (1 файл: 2,346 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 73 с. URL: http://ela.kpi.ua/handle/123456789/26157
12. Механічні, гідромеханічні та масообмінні процеси та апарати : метод. вказівки до практичних занять з курсу ПАХТ. 2-ге вид. / уклад. І. О. Мікульонок, Г. Л. Рябцев. Київ : НТУУ «КПІ», 2000. 88 с.