



Теоретичні аспекти, методи та моделі управління пристінними течіями

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	144 Теплоенергетика
Освітня програма	ОНП Теплоенергетика
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)/ очна(вечірня)
Рік підготовки, семестр	1 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	6,5 кредитів (195 годин): лекційні заняття – 13 год, практичні заняття – 4 год, самостійна робота – 130 год з урахуванням 48 год індивідуальних занять
Семестровий контроль/ контрольні заходи	екзамен/модульна контрольна робота
Розклад занять	Лекції 52 годин, практичні 13 годин
Мова викладання	українська/англійська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.ф.-м.н., проф. Воропаєв Геннадій Олександрович, voropaiev.gena@gmail.com Практичні: д.ф.-м.н., проф. Воропаєв Геннадій Олександрович, voropaiev.gena@gmail.com
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua

Програма навчальної дисципліни

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

Теоретичні аспекти, методи та моделі управління пристінними течіями — це цикл лекцій, де основна увага приділяється закономірностям та особливостям градієнтних пристінних течій, здатності моделювати теплогідродинамічних процеси на основі законів збереження маси, імпульсу і енергії в цих областях, і цілеспрямовано контролювати характеристики руху суцільних середовищ — рідин та газів. В цьому курсі викладаються наукові основи гідродинамічної стійкості, в основу якої покладена теорія розвитку власних збурень систем з нескінченним числом ступенів свободи. Оволодіння матеріалом лекцій “Теоретичні аспекти, методи та моделі управління пристінними течіями” (ТаммУПТ) є необхідною передумовою успішної науково-практичної діяльності фахівців в галузі енергетичного машинобудування, зокрема теплофізики теплообмінних систем, де можливі керовані зміни режимів течії з ламінарного до турбулентного, що визначає ефективність цих систем.

Предмет вивчення дисципліни: властивості градієнтних пристінних течій, параметрів (отриманих рішень) руху суцільного середовища; умови зберігання стійкості параметрів течії в просторі і/або в часі; закономірності розвитку вихрових збурень та їх вплив на енергообмін в пристінних течіях.

Метою навчальної дисципліни є формування здатностей (компетентностей), які аспірант набере після вивчення дисципліни:

ЗК1 Здатність до критичного аналізу та синтезу, абстрактного мислення та генерування нових знань при вирішенні дослідницьких і практичних завдань.

ЗК3 Здатність розробляти проекти та управляти ними.

ФК1 Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукові результати, які створюють нові знання у сфері теплоенергетики та дотичних до неї міждисциплінарних

напрямах і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з теплоенергетики та суміжних галузей.

ФК4 Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у сфері теплоенергетики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

ФК5 Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в теплоенергетиці та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації.

ФК6 Здатність розуміти сучасні проблеми науково-технічного розвитку енергетики, знати сучасні технології енерго- та ресурсозбереження.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

ПРН1 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, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

ПРН2 Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми теплоенергетики державною та іноземною мовами, кваліфіковано відобразити результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

ПРН3 Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень (опитувань, спостережень, тощо) і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

ПРН5 Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з теплоенергетики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

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

Дисципліна передбачає попереднє засвоєння матеріалу математичного аналізу, диференціальних рівнянь, механіки та теплофізики рідини і газу, загальної теорії турбулентності. Курс забезпечує теоретичну та практичну підготовку при постановці та вирішенні дисертаційних задач конвективного теплопереносу в енергетичному обладнанні та визначенні оптимальних значень відношень теплогідравлических параметрів енергетичних систем.

Зміст навчальної дисципліни

Семестровий (кредитний) модуль.

Вступ. Предмет курсу і його значення в формуванні компетентностей в області енергетичного машинобудування.

Розділ 1. Закони збереження стисливий теплопровідний в'язкий рідини.

Тема 1.1. Рівняння стану. Закони збереження маси стисливий рідини.

Тема 1.2. Закони збереження імпульсу та енергії стисливий теплопровідний в'язкий рідини.

Тема 1.3. π -теорема. Закони подоби.

Розділ 2. Класифікація пристінних градієнтних течій в'язкої рідини.

Тема 2.1. Примежовий шар.

Тема 2.2. Інтегральні закони збереження.

Тема 2.3. Відрив примежового шару.

Тема 2.4. Асимптотичні внутрішні течії, відрив у цих течіях.

Розділ 3. Перехід к турбулентному режиму течії.

Тема 3.1. Лінійна теорія втрати стійкості. Теорема Релея. Оператори Релея та Орра-Зоммерфельда

Тема 3.2. Стійкість течії у примежовому шарі.

Тема 3.3. Стійкість течії у каналах.

Тема 3.4. Формулювання задачі на власні значення.

Тема 3.5. Розв'язання проблеми власних значень у пакеті MATLAB.

Розділ 4. Методи та моделі управління течіями.

Тема 4.1. Активні і пасивні методи управління структурою течії. Вихрова інтенсифікація теплообміну на обтічній поверхні. Аналогія Рейнольдса.

Тема 4.2. Енергетичний баланс в ламінарному і турбулентному примежовому шарі. Конвективний теплообмін при ламінарному та турбулентному русі рідини.

Тема 4.3. Управління інтенсифікацією конвективного теплообміну при збереженні гідродинамічних і гідравлічних втрат.

Розділ 5. Моделювання еволюції течій. Чисельні методи вирішення початково-граничних задач.

Тема 5.1. Елементи чисельного аналізу необхідних для моделювання теплодинамічних задач конвективного теплообміну в рухомому середовищі. Метод контрольного об'єму.

Тема 5.2. Основні особливості дискретних математичних моделей конвективного теплообміну (протиточні схеми), використовуваних в сучасних програмних комплексах. Система координат та розрахункова сітка. Форма запису вихідних рівнянь. Розділення поверхонь за типом граничних умов.

Тема 5.3. Пакет прикладних програм Fluent та CFX. Огляд можливостей Fluent та CFX. Обчислення в середовищі Fluent та CFX.

Розділ 6. Методи та моделі управління відривними течіями.

Тема 6.1. Управління відривними течіями: вихрова структура течії і теплообмін.

Конвективний теплообмін при поперечному обтіканні труб

Тема 6.2. Конвективний теплообмін у примежовому шарі на плоскій облуненной поверхні при турбулентному режимі течії.

Тема 6.3. Методи інтенсифікації теплообміну. Особливості омивання і тепловіддачі труб при примусовій конвекції. Вибір моделі турбулентності.

Тема 6.4. Сучасний стан досліджень в області гідродинаміки і теплообміну гофрованих каналах.

Розділ 7. Закони збереження в двофазному середовищі.

Тема 7.1. Кавітація. Управління бульбашковою кавітацією в скінчених об'ємах.

Тема 7.2. Моделювання фазовими переходами в елементах енергетичного обладнання.

4. Навчальні матеріали та ресурси

базова (підручники, навчальні посібники) література

1. Баскова О.О. Управління вихровим тепломасообміном в елементах енергетичного обладнання. Дисертація. НТУУ “КПІ ім.Ігоря Сікорського”,-2020.

додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література

1. Андерсон Д.,Танненхилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Т.1.- М.:Мир,1990.-384 с.
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена.М.:Атомиздат, 1979,415с.
3. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982.- 472 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1975. – 488 с.
5. Ландау Л.Д.,Лифшиц Е.М.Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т.VI. Гидродинамика.- 3-е изд., перераб. - М.:Наука. Гл.ред.физ.мат.лит.,1986.-736 с.
6. Гольдштик М.А., Штерн В.Н. Гидродинамическая устойчивость и турбулентность. Новосибирск.:Наука,1977.-366с.
7. FLUENT 5.5 UDF User's Guide. – Fluent Inc. September 2000. – 563 p.
8. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред.-М.:Наука. 1978.-336с.
9. Линь Цзя-цзяо. Теория гидродинамической устойчивости.– М.: ИЛ, 1958.– 194 с.
10. Драйзин Ф. Введение в теорию гидродинамической устойчивости.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.– 288 с.
11. Бетчов Р., Криминале В. Вопросы гидродинамической устойчивости.– М.: МИР, 1971.– 352 с.
12. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя.– М.:Наука, 1974.– 711 с.
13. Путята В.Й., Сідляр М.М. Гідроаеромеханіка.- К. Вид.Київського університету,1963.-480 с.

14. Бузиев С.Н. MATLAB 2006a в примерах. РГУ нефти и газа им.И.М.Губкина,2006.-150с.
15. MATLAB - Based Books (Web of Science)
16. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена. – М.: «Мир», 1988. – 544 с.
17. Быстров Ю.А., Исаев С.А., Кудрявцев Н.А., Леонтьев А.И. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб. – Санкт-Петербург: Судостроение, 2005. – 389 с.
18. Пугачев П.В. Расчет и проектирование лопастных гидромашин с использованием пакета ANSYS CFX / П.В. Пугачов, Д.Г. Свобода, А.А. Жарковский – СПб.: Издательство Политехнического университета Санкт-Петербург, 2016. – 184 с.
19. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 466 с.
20. Митрофанова О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков. М.:Физматлит, 2010.-288с.
21. ANSYS 5.7. Thermal analysis guide. – М.: CADFEM, 2001. – 110 р.
22. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 272 с.
23. Meier G., Viswanath P. Mechanics of Passive and Active Flow Control. L.: Klumer Academic Publishers. 1998.- 380 с.
24. Воропаев Г.А., Птуха Ю.А. Моделирование сложных турбулентных течений.К.: Наукова думка. 1991.- 168с.
25. Юн А.А. Теория и практика моделирования турбулентных течений. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.-272с.
26. Алексеик О. С., Кравец В. Ю. Теплоотдача при кипении на гладких и пористых поверхностях в условиях ограниченного объема Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Вып. 1/8(67). С. 3-6
27. Тарг С.М. Основные задачи теории ламинарных течений. М-Л.:ГИ Техн.- теор.лит.1951.-420 с.
28. Кампус <http://login.kpi.ua/>
29. Бібліотека <ftp://77.47.180.135/> <http://www.twirpx.com/file/1211739/>

рекомендації та роз'яснення

- *Всі базові літературні джерела є в бібліотеці КІП та в методичному кабінеті кафедри, додаткові джерела спрямовані на поглиблене ознайомлення з окремими розділами;*
- *Жодне джерело, як і всі перелічені літературні джерела разом, не є достатніми для опанування дисципліни без конспекту лекцій, який побудовано за певною методикою, що враховує специфіку і об'єм лекційних занять відповідно до освітньої програми.*
- *Базові джерела містять теоретичні матеріали та приклади за темами дисципліни, що можна використовувати разом з матеріалами лекцій, але тільки під час лекцій пропонується їх інтегральний зв'язок з сучасними проблемами ТГС, зокрема механіки рідини і газів, з прикладами і методиками практичної реалізації.*
-

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Методика опанування кожної теми складається з таких компонентів: теоретичні відомості за темою, методики їх застосування на практичних заняттях, приклади застосування методик, самостійне виконання модульної контрольної роботи (МКР).

ЛЕКЦІЙНІ ЗАНЯТТЯ

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Теоретичні аспекти, методи та моделі управління пристінними течіями
Література:	Бетчов Р., Криминале В. Вопросы гидродинамической устойчивости.– М.: МИР, 1971.– 229-264 с. Ландау Л.Д.,Лифшиц Е.М.Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т.VI. Гидродинамика.- 3-е изд., перераб. - М.:Наука. Гл.ред.физ.мат.лит.,1986.-

	736 с. <i>Митрофанова О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков. М.:Физматлит, 2010.-288с.</i>
Завдання на СРС:	Активні та пасивні методи управління потоками. Зробити додатковий перелік методів управління, о яких не розповідалось на лекції
2	Рівняння стану. Закони збереження маси стисливої рідини.
Література:	Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. - 3-е изд., перераб. - М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит., 1986. - 736 с. Путята В.Й., Сидляр М.М. Гідроаеромеханіка. - К. Вид. Київського університету, 1963. - 480 с.
Завдання на СРС:	Елементи тензорного аналізу.
3	Закони збереження імпульсу та енергії стисливої теплопровідної в'язкої рідини.
Література:	Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. - 3-е изд., перераб. - М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит., 1986. - 736 с. Путята В.Й., Сидляр М.М. Гідроаеромеханіка. - К. Вид. Київського університету, 1963. - 480 с.
Завдання на СРС:	Рівняння Нав'є-Стокса у криволінійних координатах
4	π -теорема. Закони подібності.
Література:	Путята В.Й., Сидляр М.М. Гідроаеромеханіка. - К. Вид. Київського університету, 1963. - 480 с.
Завдання на СРС:	Числа Прандтля, Пекле, Нуссельта, Грасгофа, Еккерта
5	Ламінарний примежовий шар. Рішення Блазіуса.
Література:	Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. - М.: Наука, 1974. - 711 с
Завдання на СРС:	Рішення Блазіуса.
6	Інтегральні закони збереження пристінних течій.
Література:	Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. - М.: Наука, 1974. - 711 с
7	Відрив примежового шару. Критерій відриву.
Література:	Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. - М.: Наука, 1974. - 711 с
Завдання на СРС:	Примежовий шар при обтіканні циліндра
8	Асимптотичні внутрішні течії, відрив у цих течіях
Література:	Тарг С.М. Основные задачи теории ламинарных течений. М.-Л.:ГИ Техн.-теор. лит. 1951. - 420 с.
Завдання на СРС:	Початкові ділянки каналів. Формування профіля швидкості та температури в залежності від граничних умов
9	Лінійна теорія втрати стійкості. Теорема Релея. Оператори Релея та Орра-Зоммерфельда
Література:	Драйзин Ф. Введение в теорию гидродинамической устойчивости. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - с. 11 - 19; Джозеф Д. Устойчивость движених жидкости. - М.: МИР, 1981. - с. 42 - 52.
Завдання на СРС:	Постановка лінійної задачі стійкості. Лінеаризація рівнянь руху рідини. Основи методу нормальних мод. Довжина та фазова швидкість хвилі.
10	Формулювання задачі на власні значення. Нестійкість стану рівноваги двох рідин зрізною густиною. Поверхневі та внутрішні гравітаційні волни.
Література:	Драйзин Ф. Введение в теорию гидродинамической устойчивости. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - с. 11 - 19;
Завдання на СРС:	Нестійкість Кельвіна - Гельмгольца. Аналіз збуреного руху методом лінійної теорії гідродинамічної стійкості. Інкримент зростання.
11	Стійкість течії у примежовому шарі. Основна течія і фізичний механізм її нестійкості. Волни тиску та завихреності. • Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.

Література:	Драйзин Ф. Введение в теорию гидродинамической устойчивости.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.– с. 39 – 42. Линь Цзя-цзяо Теория гидродинамической устойчивости.– М.: ИЛ, 1958.– с. 9 – 11.
Завдання на СРС:	Стійкість струменів та слідів. Нев'язка теорія Релея. Рівняння збуреного руху і застосування методу нормальних мод. Вплив форми профілю швидкості на характеристики стійкості. Необхідна умова стійкості, критерій Релея.
12	Стійкість течії у каналах.
Література:	Бетчов Р., Криминале В. Вопросы гидродинамической устойчивости.– М.: МИР, 1971.– 229-264 с.
Завдання на СРС:	Стійкість течії між обертовими циліндрами у випадку в'язкої рідини.
13	Розв'язання проблеми власних значень у пакеті MATLAB.
Література:	Бетчов Р., Криминале В. Вопросы гидродинамической устойчивости.– М.: МИР, 1971.– 229-264 с. Бузиев С.Н. MATLAB 2006a в примерах. РГУ нефти и газа им.И.М.Губкина, 2006.-150с. MATLAB - Based Books (Web of Science)
Завдання на СРС:	Чисельний аналіз стійкості в'язкого шару зсуву. Формулювання задачі на власні значення для системи лінійних диференціальних рівнянь у часткових похідних. Розв'язання проблеми власних значень у пакеті MATLAB.
14	Енергетика активних і пасивних методів управління структурою течії. Віхревая інтенсифікація теплообміну на обтічній поверхні. Аналогія Рейнольдса.
Література:	Воропаев Г.А., Птуха Ю.А. Моделирование сложных турбулентных течений.К.: Наукова думка. 1993.- 168с. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена.М.:Атомиздат, 1979.-415с. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982.- 472 с. Meier G., Viswanath P. Mechanics of Passive and Active Flow Control. L.: Klumer Academic`Publishers. 1998.- 380 с.
Завдання на СРС:	Засвоїти теоретичний матеріал, прослуханий на лекції. Особливу увагу приділити ознайомленню з когерентними вихровими структурами.
15	Енергетичний баланс в ламінарному і турбулентному примежовому шарі. Конвективний теплообмін при ламінарному та турбулентному русі рідини
Література:	Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена.М.:Атомиздат, 1979,415с. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982.- 472 с.
Завдання на СРС:	Розвиток турбулентності в примежовому шарі на пластині.
16	Управління інтенсифікацією конвективного теплообміну при збереженні гідродинамічних і гідравлічних втрат. • <i>Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.</i>
Література:	Meier G., Viswanath P. Mechanics of Passive and Active Flow Control. L.: Klumer Academic`Publishers. 1998.- 380 с. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982.- 472 с. Попов И. А., Махьянов Х. М., Гуреев В. М. Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена: Интенсификация теплообмена: монография. Казань: Центр инновационных технологий, 2009. 560 с.
Завдання на СРС:	Вплив осьового та радіального вимушеного руху рідини через кільцевий зазор на інтенсивність теплообміну між обертовими циліндрами.
17	Елементи чисельного аналізу необхідних для моделювання теплодинамічних задач конвективного теплообміну в рухомому середовищі. Метод контрольного об'єму.
Література:	Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена. – М.: «Мир», 1988. – 544 с. Андерсон Д.,Танненхилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и

	теплообмен. Т.1.-М.:Мир,1990.-384 с.
Завдання на СРС:	Засвоїти теоретичний матеріал, прослуханий на лекції. Особливу увагу приділити ознайомленню з когерентними вихровими структурами. Формулювання лінійної задачі про стійкість течії Пуазейля в круглій трубі.
18	Основні особливості дискретних математичних моделей конвективного теплообміну (протипоточні схеми), використовуваних в сучасних програмних комплексах.
Література:	Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена. – М.: «Мир», 1988. – 544 с. Андерсон Д.,Танненхилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Т.1.-М.:Мир,1990.-384 с.
Завдання на СРС:	Система координат та розрахункова сітка. Форма запису вихідних рівнянь. Розділення поверхонь по типу граничних умов.
19	Пакет прикладних програм Fluent. Огляд можливостей Fluent. Обчислення в середовищі Fluent. • <i>Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.</i>
Література:	ANSYS 5.7. Thermal analysis guide. – М.: CADFEM, 2001. – 110 р. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 272 с.
Завдання на СРС:	Побудувати структуровану сітку в каналі з розширенням со ступенням біля поверхні та в околі розширення
20	Управління відривними течіями: вихрова структура течії і теплообмін. Конвективний теплообмін при поперечному обтіканні труб • <i>Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.</i>
Література:	Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982.-472 с. Быстров Ю.А., Исаев С.А., Кудрявцев Н.А., Леонтьев А.И. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб. – Санкт-Петербург: Судостроение, 2005. – 389 с. Митрофанова О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков. М.:Физматлит, 2010.-288с.
Завдання на СРС:	Нестационарний відрив та його вплив на теплообмін
21	Конвективний теплообмін у прилеглому шарі на плоскій структурованій поверхні при турбулентному режимі течії. • <i>Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.</i>
Література:	Быстров Ю.А., Исаев С.А., Кудрявцев Н.А., Леонтьев А.И. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб. – Санкт-Петербург: Судостроение, 2005. – 389 с.
Завдання на СРС:	Конвективний теплообмін у прилеглому шарі на плоскій структурованій поверхні при ламінарному режимі течії.
22	Методи інтенсифікації теплообміну. Особливості омивання і тепловіддачі труб при примусовій конвекції. Вибір моделі турбулентності.
Література:	Быстров Ю.А., Исаев С.А., Кудрявцев Н.А., Леонтьев А.И. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб. – Санкт-Петербург: Судостроение, 2005. – 389 с. Воропаев Г.А., Птуха Ю.А. Моделирование сложных турбулентных течений.К.: Наукова думка. 1993.- 168с.
Завдання на СРС:	Модель турбулентності переносу напруг (компонент тензора Рейнольдса)
23	Сучасний стан досліджень в області гідродинаміки і теплообміну гофрованих каналів. • <i>Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.</i>
Література:	Баскова О.О. Управління вихровим тепломасообміном в елементах енергетичного обладнання. Дисертація НТУ «КПІм.Ігоря Сікорського»,2020.
Завдання на СРС:	Реферат по пасивним методам управління потоками
24	Кавітація. Управління бульбашкової кавітації в скінчених областях. •

	<i>Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.</i>
Література:	Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред.-М.:Наука. 1978.-336 с.
Завдання на СРС:	Розв'язок рівняння стану і руху бульбашки у рідині.
25	Моделювання фазових переходів в елементах енергетичного обладнання. • <i>Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.</i>
Література:	Алексеик О. С., Кравец В. Ю. Теплоотдача при кипении на гладких и пористых поверхностях в условиях ограниченного объема Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Вып. 1/8(67). С. 3-6 Накоряков В. Е., Кузнецов В. В. Тепломассообмен при фазовых переходах и химических превращениях в микроканальных системах. М.: МЭИ, 2006. 167 с.
Завдання на СРС:	Парова кавітація.

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

№ з/п	<i>Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)</i>
1	Тема 1.1–2.3. Рівняння стану. Закони збереження маси стисливі рідини. Закони збереження імпульсу та енергії стисливі теплопровідний в'язкий рідини. π -теорема. Закони подібності. Примежовий шар. Відрив примежового шару. Інтегральні закони збереження.
Література:	[13] с. 11-24; 134 – 217; [5] с. 223-238; 270 – 276; [12] с. 120 – 137; 359-386.
Завдання на СРС:	Основні фізичні властивості рідин і газів як суцільних середовищ. Середня швидкість рідини. Режими течії рідини. Миттєві епюри швидкостей в ламінарному та турбулентному потоках.
2	Тема 3.1-3.3. Лінійна теорія втрати стійкості. Теорема Релея. Оператори Релея та Орра-Зоммерфельда. Рівняння Орра-Зоммерфельда і спектральна задача для нього.
Література:	[9] с. 31-58; [10] с. 11-20;
Завдання на СРС:	Практичне застосування набутих знань для аналізу стійкості течії у примежовому шарі при врахуванні градієнтів тиску та кривини обтічної поверхні.
3	Тема 3.4. Формулювання задачі на власні значення. Нестійкість плоскопаралельних течій рідини. Зсувний шар кінцевої товщини. Власні функції та власні значення частот, інкременти зростання.
Література:	[9] с. 59-76; [10] с. 88-110;
Завдання на СРС:	Самостійно проробити питання отримання власних значень швидкості зростання збурень при врахуванні в'язкості.
4	Тема 3.5. Розв'язання проблеми власних значень у пакеті MATLAB. <i>Аналіз стійкості в'язкої течії у примежовому шарі.</i>
Література:	[11] с. 36-53; [14] с. 1-150.
Завдання на СРС:	Практичне визначення власних значень паралельних однорідних потоків Самостійно написати коди в пакеті MATLAB для визначення власних значень частот в залежності від хвильових чисел.
Модульна контрольна робота по матеріалах пророблених тем 3.1 — 3.4.	
5	Тема 4.1-4.3. Енергетичний баланс в ламінарному і турбулентному примежовому шарі. Конвективний теплообмін при ламінарному та турбулентному русі рідини. Управління інтенсифікацією конвективного теплообміну при збереженні гідродинамічних і гідравлічних втрат.
Література:	[3] с. 74 – 135; [4] с. 107 – 155; [д1] с. 291 – 332. [д3] с. 78 – 83.
Завдання на СРС:	Реферат: детермінована вихрова структура потоку, методи управління вихрової структурою потоку
6	Тема 5.1-5.3 Елементи чисельного аналізу необхідних для моделювання теплодинамічних задач конвективного теплообміну в рухомому середовищі. Розділення поверхонь по типу граничних умов. Метод контрольного об'єму. Основні особливості дискретних математичних моделей конвективного

	теплообміну(протипоточні схеми).
Література:	[1] с. 5-62; [δ1] с. 15– 31;с.178-210; [δ3] с. 78 – 83; [д3] с. 78 – 83; [д10] с. 107 – 128; [12] с. 359-386.
Завдання на СРС:	Використання сучасних програмних кодів у та практичних дослідженнях. Побудова структурованих та неструктурованих сіток

6. Самостійна робота аспіранта

Метою самостійної роботи є засвоєння наданих на лекціях теоретичних матеріалів. Самостійна робота аспірантів складається з підготовки до аудиторних занять, розв'язання завдань, які відображають окремі фрагменти лекційного матеріалу щодо його поглибленої проробки, виконання модульної контрольної роботи.

Приклади контрольних завдань для модульної контрольної роботи

6.1. Теоретичні питання

Варіант 1. Поверхневі та об'ємні (масові) сили. (розділ 1, тема 1.1).

Варіант 2. π -теорема (формулювання) (розділ 1, тема 1.3).

Варіант 3. Примежовий шар на поверхні, критерій відриву (розділ 2, тема 2.1-2.3).

Варіант 4. Товщина примежового шару, товщина витіснення, товщина втрати імпульсу (розділ 2, тема 2.1-2.3).

Варіант 5. Фізична та математична постановки задачі стійкості течії(розділ 3, тема 3.1).

Варіант 6. Критерій стійкості Рейнольдса (розділ 3, тема 3.1).

Варіант 7. Фізичне значення рішення задачі Штурма-Ліувілля (Розділ 3, теми 3.1, 3.2).

Варіант 8. Хвилі тиску та завихреності (розділ 3, тема 3.4).

Варіант 9. Рішення задачі Кельвіна-Гельмгольца (розділ 3, тема 3.5).

Варіант 10. Критерій ефективності управління пристінними течіями (розділ 4, тема 4.2).

Варіант 11. Критерій ефективності управління інтенсифікацією теплообміну (розділ 4, тема 4.4).

Варіант 12. Методи чисельного розв'язування задач (розділ 5, тема 5.1)

Варіант 13. Стійкість та консервативність різницевих схем, протипоточні схеми (розділ 5, тема 5.3)

Варіант 14. Число кавітації. Розв'язок рівняння стану і руху бульбашки (вибірково) (розділ 7, тема 7.1).

Варіант 15. Вторинні вихрові течії. Вихри Гьортлера (вибірково) (розділ 3, теми 3.4).

6.2. Комплексне завдання для певних підгруп

1) Визначити інкремент наростання амплітуди хвильового збурення з довжиною хвилі λ плоскій поверхні розділу двох середовищ. Одне середовище щільності ρ_1 нерухомо, інша щільності ρ_2 тече зі швидкістю U .

Determine the growth rate of the wave disturbance amplitude with the wavelength λ of the shear layer between two media. One medium density ρ_1 is stationary, the other - density ρ_2 flows at a velocity U .

Необхідні дані див. в Табл. 1.

Таблиця 1.

№ задачі	Назва параметра	Номери варіантів задач									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	U [m/c]	5	5	25	5	5	5	5	5	25	5
	ρ_1 [kg/m ³]	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980
	ρ_2 [kg/m ³]	800	1.5	1.5	980	1.2	800	800	800	1.5	1.5
	λ [m]	2	0.2	2	1	2	0.2	5	1	2	20

6.3. Приклади щодо експрес-тестів

1. Які моделі суцільних середовищ Ви знаєте.
2. Значення товщина витіснення, товщини втрати імпульсу у примежовому шарі.
3. Що визначає дійсна частина власного значення фазової швидкості, а що уявна?
4. Записати вираз рівняння Релея для амплітуди власного рішення у вигляді біжучої хвилі..
5. Записати вираз рішення рівняння Орра-Зоммерфельда в однорідному потоці.
6. Навести критичне значення числа Рейнольдса примежового шару на пластині.
7. Енергетичний критерій стійкості зсувних в'язких течій.
8. Які напівемпіричні моделі турбулентності Ви використовуєте і чому?
9. Навести приклад аналогії Рейнольдса.
10. Яке значення набуває температура теплоносія в каналі безконечної довжини при постійній температурі стінки каналу?

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- обов'язкове відвідування лекцій і практичних занять, а також готовність відповідей при опитуванні;
- необхідне виконання таких вимог: активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення телефонів; відповідно до завдання викладача використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача чи в інтернеті;
- заохочувальні бали надаються у відповідності до «системи оцінювання результатів», штрафні бали є засобом протидії плагіату та несамотійному виконанню робіт;
- політика дедлайнів та перескладань полягає в виконанні поточних модульних робіт до початку сесії;
- політика щодо академічної доброчесності відповідає загальним положенням, прийнятим в «КПІ ім. Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>);
- політика навчальної дисципліни спрямована на розвиток індивідуальних здібностей в напрямку набуття компетентностей щодо створення та модернізації сучасних енергетичних систем, унікального експериментального обладнання в галузі прикладної фізики та розширення сфер застосування отриманих знань, умінь і досвіду.
- за бажанням студентів, допускається вивчення матеріалу за допомогою англійськомовних онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

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

Види контролю знань студентів з дисципліни:

- відповіді при фронтальному експрес-опитуванні на лекціях;
- більш розлогі відповіді на практичних заняттях;
- виконання МКР;
- відповідь на заліку – максимально 40 балів.

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

- 1) 4 відповіді в середньому кожного студента при фронтальному експрес-опитуванні на лекціях (на одному занятті опитують приблизно 6 студентів; при середній чисельності студентів 12 осіб на восьми лекційних заняттях (16 годин без урахування 2 годин заліку) отримуємо: $6 \times 8 / 12 = 4$ відп.);
- 2) аналогічно 4 більш розлогі відповіді в середньому кожного студента на практичних заняттях;
- 3) виконання модульної контрольної роботи (МКР);
- 4) відповідь на екзамені.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

8.1. Фронтальне бліц-опитування на лекційних заняттях

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів студента на всіх лекційних заняттях дорівнює $r_1 = 4 \times 5 = 20$ балів.

Критерії оцінювання:

5 балів — повна вірна відповідь; **4–3 бали** — неповна відповідь; **2–0 балів** — невірна або відсутня відповідь.

8.2. Опитування на практичних заняттях

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів аспірантаа на всіх практичних заняттях дорівнює $r_2 = 4 \times 5 = 20$ балів.

Критерії оцінювання:

5 балів — повна вірна відповідь; **4–3 бали** — неповна відповідь; **2–0 балів** — невірна або відсутня відповідь.

8.3. Модульна контрольна робота (МКР), табл. 2

Максимальна кількість балів за правильно виконану МКР: $r_3 = 20$ балів.

Рейтингові бали за модульну контрольну роботу

Таблиця 2

Бали	Критерій оцінювання
10	Зауважень до результату немає, є чіткі відповіді на всі запитання
8...9	Зауважень до ходу розв'язання немає, але є неточності і помилки в розрахунках
5...7	Завдання виконане не повністю
1...4	Неповне виконання завдання при 5-хвилинному подовженні часового регламенту
0	Завдання повністю не виконане

Максимальна кількість штрафних балів мінус 5 балів, або заохочувальних +5 балів. Бали додаються за оригінальні рішення та активність роботи на лекціях та практичних заняттях. Бали втрачаються за некоректне надання відповідей та запозичення чужих рішень.

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття, МКР.

8.4. Критерії оцінювання екзамену

Залік складається з двох питань: теоретичного (вага кожного питання 20 балів) та практичного завдання (20 балів). Максимальна кількість балів заліку становить $20+20 = 40$ балів.

8.5. Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (r_d):

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає: $R_c = \sum_i r_i$,

де r_i – рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни;

$R_c = 20 + 20 + 10 = 50$ балів.

Екзаменаційна складова R_E шкали дорівнює: $R_E = 50$ балів.

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає $R_D = R_c + R_E = 50 + 50 = 100$ балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів, R_D	Оцінка
100–95	Відмінно
94–85	Дуже добре
84–75	Добре
74–65	Задовільно
64–60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни більше, ніж $0,5 \times R_c = 25$ балів, допускаються до екзамену.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Аспіранти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Аспіранти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Норми етичної поведінки аспірантів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Детальніше: <https://kpi.ua/code>).

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Приклад білета до екзамену

1. Рівняння Релея. Теорема Релея.
2. Власні значення частоти та швидкості.
3. Задача

Робочу програму навчальної дисципліни Теоретичні аспекти, методи та моделі управління пристінними течіями (силабус):

складено професором кафедри АЕС і ІТФ, докт. фіз.-мат наук, професором Воропаєвим Геннадієм Олександровичем

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 15 від 15.06.2020 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 25.06.2020 р.)