



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	142— Енергетичне машинобудування
Освітня програма	Енергетичне машинобудування
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)/дистанційна/змішана
Рік підготовки, семестр	2 курс 3 семестр
Обсяг дисципліни	4кредити (120 годин): лекції - 42 години, практичні - 14 годин, 3 модульні контр. роботи, CPC – 64 години
Семестровий контроль/ контрольні заходи	залік
Розклад занять	http://roz.kpi.ua/
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.

Метою навчальної дисципліни “Теоретичні аспекти, методи та моделі управління пристінними течіями” є отримання аспірантами професійних знань з моделювання та розрахунку параметрів, визначення умов, що забезпечують сталі режими течії та теплообміну в рідинних середовищах. Отримані знання дають можливість виконувати дослідження фізичних процесів та забезпечувати реалізацію розрахункових режимів функціонування елементів енергетичних систем.

Предмет вивчення дисципліни ТаммУПТ: 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..

Вміння самостійно формулювати, аналізувати та розв’язувати задачі руху рідин дозволять аспірантам набутти таких **компетентностей** (відповідно до ЗКІ-10, ФКІ-14 Освітньої програми): застосування набутих методології та прийомів щодо розрахунків, аналізу роботи та оптимізації елементів і конструкцій енергетичних установок, машин, споруд, обладнання для фізичних досліджень, в тому числі в галузі енергетичного машинобудування.

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

Дисципліна ТаммУПТ 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 теплопереноса в енергетичному обладнанні та визначенні оптимальних значень відношень теплогідродинамічних 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 стисливій теплопровідний в’язкий рідини.

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

Тема 1.2. Закони збереження імпульсу та енергії стисливій 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. 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 (протипоточні схеми), використовуваних в сучасних програмних комплексах. Система координат та розрахункова сітка. Форма запису вихідних рівнянь. Розділення поверхонь по типу 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.

4. Навчальні матеріали та ресурси

базова (підручники, навчальні посібники) література

1. Tannehill, John C. Computational fluid mechanics and heat transfer / John C. Tannehill, Dale A Anderson, Richard H. Pletcher. -2nd ed.p. *cm.*-(Series in computational and physical processes in mechanics and thermal sciences). W.: **Taylor & Francis, 1997. – 792 p.**
2. Wilcox, D. C. *Turbulence Modeling for CFD*. DCW Industries, Inc. 2010. 522 p.
3. Lin Jia-jiao. Theory of hydrodynamic stability. Cambridge University Press, 1955.– 155 p.
4. Drazin P.G. Introduction to hydrodynamic stability. Cambridge University Press, 2002.– 258 p
5. Betchov R., Criminale W. O. Jr. Stability of parallel flows.– New York: Academic press, 1967.– 330 p.
6. Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Theory.– Springer Berlin, Heidelberg, 2019.– 799 p.
7. Путятя В.Й., Сідляр М.М. Гідроаеромеханіка.- К. Вид.Київського університету,1963.-480 с.
8. FLUENT 5.5 UDF User's Guide. – Fluent Inc. September 2000. – 563 p.
9. Attaway D. MATLAB: A Practical Introduction to Programming and Problem Solving. Elsevier.2022.-592 p.
10. Гришанова, І. А. Системи CAD/CAE. ANSYS FLUENT : навч. посіб. для студ. приладобуд. та машинобуд. спец. висщ. навч. закл. / І.А. Гришанова, І.В. Коробко ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ "КПІ". - Київ : ДІА ЛТД, 2012. - 207 с.
11. MATLAB - Based Books (Web of Science)

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

1. Tien-Mo Shih. Numerical Heat Transfer – Washington, D.C.: Hemisphere Publishing Corporation, 1983. – 563 з.
2. Загорулько, А.В. Програмний комплекс ANSYS в інженерних задачах [Текст]: навч. посіб. / А.В. Загорулько. - Суми : СумДУ, 2008. - 200 с.

3. Баранюк, О. В. Математичне моделювання систем та процесів. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 143 “Атомна енергетика” спеціалізації “Атомні електричні станції” / О. В. Баранюк ; – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 115 с. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36207>).
4. Stephen B. Pope Turbulent Flows. Cambridge University Press. 2000. 771 p.
5. Ferziger, J. H., Perić, M. *Computational Methods for Fluid Dynamics*. Springer. 2002. 423 p.
6. Баскова О.О. Управління вихровим тепломасообміном в елементах енергетичного обладнання. Дисертація. НТУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 2020.
7. Кампус <http://login.kpi.ua/>
8. Meier G., Viswanath P. *Mechanics of Passive and Active Flow Control*. L.: Klumer Academic Publishers. 1998.- 380 с.
9. Бібліотека <ftp://77.47.180.135/>

<http://www.twirpx.com/file/1211739/>

рекомендації та роз'яснення

- Всі базові літературні джерела є в бібліотеці КПІ 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:	Meier G., Viswanath P. <i>Mechanics of Passive and Active Flow Control</i> . L.: Klumer Academic Publishers. 1998.- 380 с. Betchov R., Criminale W. O. Jr. <i>Stability of parallel flows</i> .– New York: Academic press, 1967.– 330 p.
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 стисливий рідини.
Література:	Путята В.Й., Сідляр М.М. <i>Гідроаеромеханіка</i> .– К. Вид. Київського університету, 1963.-480 с.

Завдання на СРС:	Елементи тензорного аналізу.
3	Закони збереження імпульсу та енергії стисливий теплопровідний в'язкий рідини.
Література:	Путята В.Й., Сідляр М.М. Гідроаеромеханіка.- К. Вид. Київського університету, 1963.- 480 с.
Завдання на СРС:	Рівняння Нав'є-Стокса у криволінійних координатах
4	π - теорема. Закони подоби.
Література:	Путята В.Й., Сідляр 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:	Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Theory.– Springer Berlin, Heidelberg, 2019.– 799 p.
Завдання на СРС:	Рішення Блазіуса.
6	Інтегральні закони збереження пристінних течій.
Література:	Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Theory.– Springer Berlin, Heidelberg, 2019.– 799 p.
Завдання на СРС:	
7	Відрив примежового шару. Критерій відриву.
Література:	Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Theory.– Springer Berlin, Heidelberg, 2019.– 799 p.
Завдання на СРС:	Примежовий шар при обтіканні циліндра
8	Асимптотичні внутрішні течії, відрив у цих течіях
Література:	Stephen B. Pope Turbulent Flows. Cambridge University Press. 2000. 771 p.
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:	Drazin P.G. Introduction to hydrodynamic stability. Cambridge University Press, 2002.– 258 p
Завдання на СРС:	Постановка лінійної задачі стійкості. Лінеаризація рівнянь руху рідини. Основи методу нормальних мод. Довжина та фазова швидкість хвилі. Нестійкість Кельвіна – Гельмгольца.
10	Стійкість течії у примежовому шарі. Основна течія і фізичний механізм її нестійкості. Волни тиску та завихреності. • Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.
Література:	Drazin P.G. Introduction to hydrodynamic stability. Cambridge University Press, 2002.– 258 p Lin Jia-jiao. Theory of hydrodynamic stability. Cambridge University Press, 1955.– 155 p.
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.
11	Стійкість течії у каналах.
Література:	Betchov R., Criminale W. O. Jr. Stability of parallel flows.– New York: Academic

	press, 1967.– 330 p.
Завдання на СРС:	Стійкість течії між обертовими циліндрами у випадку в'язкої рідини.
12	Розв'язання проблеми власних значень у пакеті MATLAB.
Література:	Betchov R., Criminale W. O. Jr. Stability of parallel flows.– New York: Academic press, 1967.– 330 p. 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.
13	Енергетика активних і пасивних методів управління структурою течії.. Віхревая інтенсифікація теплообміну на обтічній поверхні. Аналогія Рейнольдса.
Література:	Meier G., Viswanath P. Mechanics of Passive and Active Flow Control. L.: Klumer Academic Publishers. 1998.- 380 с. Баскова О.О. Управління вихровим тепломасообміном в елементах енергетичного обладнання. Дисертація. НТУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 2020.
Завдання на СРС:	Засвоїти теоретичний матеріал, прослуханий на лекції. Особливу увагу приділити ознайомленню з когерентними вихровими структурами.
14	Енергетичний баланс в ламінарному і турбулентному примежовому шарі. Конвективний теплообмін при ламінарному та турбулентному русі рідини
Література:	
Завдання на СРС:	Розвиток турбулентності в примежовому шарі на пластині.
15	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.
Завдання на СРС:	Вплив осьового та радіального вимушеного руху рідини через кільцевий зазор на інтенсивність теплообміну між обертовими циліндрами.
16	Елементи чисельного аналізу необхідних для моделювання теплодинамічних задач конвективного теплообміну в рухомому середовищі. Метод контрольного об'єму.
Література:	Tannehill, John C. Computational fluid mechanics and heat transfer / John C. Tannehill, Dale A Anderson, Richard H. Pletcher. -2nd ed.p. ст.-(Series in computational and physical processes in mechanics and thermal sciences). W.: Taylor & Francis, 1997. – 792 p. Tien Mo Shih. Numerical Heat Transfer – Washington, D.C.: Hemisphere Publishing Corporation, 1983. – 563 з..
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.
17	Основні особливості дискретних математичних моделей конвективного теплообміну (протипоточні схеми), використовуваних в сучасних програмних комплексах.

Література:	Tannehill, John C. Computational fluid mechanics and heat transfer / John C. Tannehill, Dale A Anderson, Richard H. Pletcher. -2nd ed.p. ст.-(Series in computational and physical processes in mechanics and thermal sciences). W.: Taylor & Francis, 1997. – 792 p. Tien Mo Shih. Numerical Heat Transfer – Washington, D.C.: Hemisphere Publishing Corporation, 1983. – 563 з.
Завдання на СРС:	Система координат та розрахункова сітка. Форма запису вихідних рівнянь. Розділення поверхонь по типу граничних умов.
18	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.: CADCAD, 2001. – 110 p.
Завдання на СРС:	Побудувати структуровану сітку в каналі з розширенням со стуженням біля поверхні та в околі розширення
19	Управління відривними течіями: вихрова структура течії і теплообмін. Конвективний теплообмін при поперечному обтіканні труб • <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. Баскова О.О. Управління вихровим тепломасообміном в елементах енергетичного обладнання. Дисертація. НТУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 2020.
Завдання на СРС:	Нестаціонарний відрив та його вплив на теплообмін
20	Конвективний теплообмін у приміжовому шарі на плоскій структурованій поверхні при турбулентному режимі течії. • <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. Баранюк, О. В. Математичне моделювання систем та процесів. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 143 “Атомна енергетика” спеціалізації “Атомні електричні станції” / О. В. Баранюк ; – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 115 с. (https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36207).
Завдання на СРС:	Конвективний теплообмін у приміжовому шарі на плоскій структурованій поверхні при ламінарному режимі течії.
21	Методи інтенсифікації теплообміну. Особливості омивання і тепловіддачі труб при примусовій конвекції. Сучасний стан досліджень в області гідродинаміки і теплообміну гофрованих каналів. • <i>Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.</i>

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного
-------	---

	забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Тем 1.1–1.3. Функція течії. Траєкторія. Потенціал швидкості. Вихрові рухи
Література:	[7] с. 43-58; 332 – 345
Завдання на СРС:	Елементи тензорного аналізу
2	Тем 2.1–2.3. Рівняння стану. Закони збереження маси стисливиї рідини. Закони збереження імпульсу та енергії стисливиї теплопровідний в'язкий рідини. π -теорема. Закони подоби. Примежовий шар. Відрив примежового шару. Інтегральні закони збереження.
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	Тем 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, інкрименти 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	Тем 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	Теми 5.1-5.2 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; [д1] с. 15– 31;с.178-210; [д3] 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
7	Тема 5.3 Пакет прикладних програм Fluent та CFX. Огляд можливостей Fluent та CFX. Обчислення в середовищі Fluent та CFX.
Література:	[7] с. 7-62; [д6] с. 15– 31;с.178-210; [[д10] с. 124 – 206;
Завдання на СРС	Побудова 3D розрахункових структурованих сіток.
8	Залік

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 завихренності (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
	$\rho_1[kg/m^3]$	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980
	$\rho_2[kg/m^3]$	800	1.5	1.5	980	1.2	800	800	800	1.5	1.5
	$\lambda[m]$	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 англomовних онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

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

(Вказуються всі види контролю та бали за кожен елемент контролю)

Види контролю знань студентів з дисципліни ТаммУПТ:

- 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 ТаммУПТ 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 заліку.

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
20	Зауважень до результату немає, є чіткі відповіді на всі запитання
15	Зауважень до ходу розв'язання немає, але є неточності і помилки в розрахунках

10	Завдання виконане не повністю
5	Неповне виконання завдання при 5-хвилинному подовженні часового регламенту
0	Завдання повністю не виконане

Максимальна кількість як теоретичних, так і практичних занять. Бали втрачаються за некоректне надання відповідей та запозичення чужих рішень.

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

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу і враховує суму поточних балів кожного студента.

8.4. Критерії оцінювання заліку

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;

$R_c = 20 + 20 + 20 = 60$ балів.

Залікова складова R_E шкали дорівнює: **$R_E = 40$ балів.**

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає **$R_D = R_c + R_E = 60 + 40 = 100$ 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 $0,5 \times R_c = 30$ балів, допускаються до заліку.

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж $0,5 \times R_c = 25$ балів, зобов'язані до початку залікової сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

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 ТаммУПТ (силабус):

складено професором кафедри АЕ докт. фіз.-мат наук, професором Воропасвим Геннадієм Олександровичем

Ухвалено: кафедрою АЕ (протокол № 26 від 23.06. 2025 р.)

Погоджено: Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 9 від 27. 06. 2025 р.)