



Теоретичні аспекти, методи та моделі управління пристінними течіями

Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>142 Енергетичне машинобудування</i>
Освітня програма	<i>Енергетичне машинобудування</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>7 кредитів, 210 годин: 13 годин лекції, 4 години практичних занять, 49 година індивідуальних занять, 145 СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>http://roz.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>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</i>
Розміщення курсу	<i>https://campus.kpi.ua</i>

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 набуде після вивчення дисципліни:

ЗК1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК3 Здатність розробляти проекти та управляти ними.

ФК1 Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері енергетичного машинобудування та дотичних до неї міждисциплінарних напрямів і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з енергетичного машинобудування та суміжних галузей.

ФК5 Здатність формулювати наукову проблему (задачу), що має теоретичне та практичне значення в галузі енергетичного машинобудування, визначати шляхи її вирішення із залученням сучасних теоретичних та експериментальних методів та інформаційних технологій.

ФК9 Здатність розробляти, застосовувати та удосконалювати математичні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення складних завдань у технічних та природничих системах.

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 енергетичного машинобудування і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

ПРН 3 Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

ПРН 4 Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у сфері енергетичного машинобудування та дотичних міждисциплінарних напрямках.

ПРН 7 На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми у сфері енергетичного машинобудування з дотриманням норм академічної етики.

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

Пререквізити: Методи інтенсифікації процесів тепло- і масообміну в гетерогенних системах, Кінетика фазових перетворень в енергетичному обладнанні.

Постреквізити: забезпечує теоретичну та практичну підготовку при постановці та вирішенні дисертаційних задач конвективного теплопереносу в енергетичному обладнанні та визначенні оптимальних значень відношень теплогідрравлічних параметрів енергетичних систем.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ. Предмет курсу і його значення в формування 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. μ - 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 обтічної 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 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 каналів.

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. Туз В.О. Гідродинаміка і тепломасообмін газорідних потоків на капілярно-пористих структурах: монографія/ В.О.Туз, Н.Л. Лебедь / Харків: ФОП Бровін О.В., 2018. 220с.
2. Гідрогазодинаміка. Курс лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 142 Енергетичне машинобудування, 143 Атомна енергетика, 144 Теплоенергетика, / В.М. Турик; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,37 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 145 с. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41225>).

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

1. Saeed Moaveni. Finite element analysis. Prentice Hall, Upper saddle River, New Jersey, 1999. -272 p. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM738/Livros/Finite%20Element%20Analysis,%20Theory%20and%20Application%20with%20ANSYS,%20.pdf> – 14.07.2022 р.
2. FLUENT 5.5 UDF User's Guide. – Fluent Inc. September 2000. – 563р.
3. Schlichting, H. (1979). Boundary layer theory. (Seventh edition ed.): McGraw-Hill.
4. Barkley D. (2016) Theoretical perspective on the route to turbulence in a pipe. Journal of Fluid Mechanics, 803 . pp. 1-79.
5. Manneville P. (2016) Transition to turbulence in wall-bounded flows. Where do we stand? Bulletin of the JSME, 3,15-00684.
6. Баскова О.О. Управління вихровим тепломасообміном в елементах енергетичного обладнання. Дисертація НТУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2020.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу, індивідуальні завдання та завдання на СРС)
Лекція 1	Теоретичні аспекти, методи та моделі управління пристінними течіями. Рівняння стану. Закони збереження маси стисливої рідини. Елементи тензорного аналізу.
Завдання на СРС:	Активні та пасивні методи управління потоками. Зробити додатковий перелік методів управління, о яких не розповідалось на лекції Закони збереження імпульсу та енергії стисливий теплопровідний в'язкий рідини. Рівняння Нав'є-Стокса у криволінійних координатах
Індивідуальне завдання 1	μ - теорема. Закони подібності. Числа Прандтля, Пекле, Нуссельта, Грасгофа, Еккерта. Ламінарний примежовий шар. Рішення Блазіуса. Інтегральні закони збереження пристінних течій. Відрив примежового шару. Критерій відриву. Примежовий шар при обтіканні циліндру

Лекція 2	Асимптотичні внутрішні течії, відрив у цих течіях. Лінійна теорія втрати стійкості. Теорема Релея. Оператори Релея та Орра-Зоммерфельда.
Завдання на СРС:	Початкові ділянки каналів. Формування профіля швидкості та температури в залежності від граничних умов. Постановка лінійної задачі стійкості. Лінеаризація рівнянь руху рідини. Основи методу нормальних мод. Довжина хвилі та фазова швидкість хвилі.
Лекція 3	Формулювання задачі на власні значення. Нестійкість стану рівноваги двох рідин з різною густиною. Поверхневі та внутрішні гравітаційні волни.
Завдання на СРС:	Нестійкість Кельвіна – Гельмгольца. Аналіз збуреного руху методом лінійної теорії гідродинамічної стійкості. Інкримент зростання.
Індивідуальне завдання 2	Стійкість течії у примежовому шарі. Основна течія і фізичний механізм її нестійкості. Волни тиску та завихреності. 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. Стійкість течії у каналах. Стійкість течії між обертовими циліндрами у випадку в'язкої рідини.
Лекція 4	Розв'язання проблеми власних значень у пакеті MATLAB. Енергетика активних і пасивних методів управління структурою течії. Віхрова інтенсифікація теплообміну на обтічній поверхні. Аналогія Рейнольдса.
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. Засвоїти теоретичний матеріал, прослуханий на лекції. Особливу увагу приділити ознайомленню з когерентними вихровими структурами.
Індивідуальне завдання 3	Енергетичний баланс в ламінарному і турбулентному примежовому шарі. Конвективний теплообмін при ламінарному та турбулентному русі рідини. Розвиток турбулентності в примежовому шарі на пластині. Управління інтенсифікацією конвективного теплообміну при збереженні гідродинамічних і гідравлічних втрат.
Лекція 5	Вплив осьового та радіального вимушеного руху рідини через кільцевий зазор на інтенсивність теплообміну між обертовими циліндрами. Елементи чисельного аналізу необхідних для моделювання теплодинамічних задач конвективного теплообміну в рухомому середовищі.
Індивідуальне завдання 4	Метод контрольного об'єму. Формулювання лінійної задачі про стійкість течії Пуазейля в круглій трубі. 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.
Індивідуальне завдання 5	Пакет прикладних програм Fluent. Огляд можливостей Fluent. Обчислення в середовищі Fluent. Управління відривними течіями: вихрова структура течії і теплообмін.
Індивідуальне завдання 6	Конвективний теплообмін при поперечному обтіканні труб. Нестационарний відрив та його вплив на теплообмін. Конвективний теплообмін у примежовому шарі на плоскій структурованій поверхні при ламінарному режимі течії.
Індивідуальне завдання 7	Конвективний теплообмін у примежовому шарі на плоскій структурованій поверхні при турбулентному режимі течії. Методи інтенсифікації теплообміну. Особливості омивання і тепловіддачі труб при примусовій конвекції.
Лекція 6	Виконання модульної контрольної роботи
Лекція 7	Вибір моделі турбулентності. Модель турбулентності переносу напруг (компонент тензора Рейнольдса)
Індивідуальне завдання 8	Сучасний стан досліджень в області гідродинаміки і теплообміну гофрованих каналах
Індивідуальне завдання 9	Кавітація. Управління бульбашковою кавітацією в скінчених областях. Моделювання фазових переходів в елементах енергетичного обладнання. Парова кавітація. Розв'язок рівняння стану і руху бульбашки у рідині.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
Практичне заняття 1	Теми 1.1–2.3. Рівняння стану. Закони збереження маси стислий рідини. Закони збереження імпульсу та енергії стислий теплопровідний в'язкий рідини. μ -теорема. Закони подібності. 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.
Індивідуальне завдання 1	Тема 3.1-3.3. Лінійна теорія втрати стійкості. Теорема Релея. Оператори Релея та Орра-Зоммерфельда. Рівняння Орра-Зоммерфельда і спектральна задача для нього. Практичне застосування набутих знань для аналізу стійкості течії у примежовому шарі при врахуванні градієнтів тиску та кривини обтічної поверхні.
Індивідуальне завдання 2	Тема 3.4. Формулювання задачі на власні значення. Нестійкість плоскопаралельних течій рідини. Зсувний шар кінцевої товщини. Власні функції та власні значення частот, інкрименти зростання. Самостійно проробити питання отримання власних значень швидкості зростання збурень при врахуванні в'язкості.
Індивідуальне завдання 3	Тема 3.5. Розв'язання проблеми власних значень у пакеті MATLAB. Аналіз стійкості в'язкої течії у примежовому шарі. Практичне визначення власних значень паралельних однорідних потоків Самостійно написати коди в пакеті MATLAB для визначення власних значень частот в залежності від хвильових чисел.
Індивідуальне завдання 4	Теми 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.
Індивідуальне завдання 5	Реферат: детермінована вихрова структура потоку, методи управління вихрової структурою потоку
Практичне заняття 2	Теми 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(протипотокові схеми).
Завдання на СРС:	Використання сучасних програмних кодів у та практичних дослідженнях. Побудова структурованих та неструктурованих сіток

6. Самостійна робота

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання певних теоретичних завдань СРС (видається після лекцій та практичних занять). Оскільки обсяг лекційних занять не може охопити всього об'єму курсу, то опанування всього навчального матеріалу передбачає індивідуальну роботу аспіранта з відповідним узгодженням тем для опрацювання з викладачем.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- обов'язкове відвідування лекцій, а також готовність відповідей при опитуванні;
- необхідне виконання таких вимог: активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення мобільних телефонів; відповідно до завдання викладача використання засобів зв'язку для пошуку інформації в Інтернеті;
- заохочувальні бали надаються у відповідності до «системи оцінювання результатів навчання», штрафні бали є засобом протидії плагіату та несвоєчасному виконанню завдань;
- політика дедлайнів та перескладань полягає у виконанні поточних модульних робіт і реферату до початку сесії;
- політика щодо академічної доброчесності відповідає загальним положенням, прийнятим у «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 обладнання в енергетичній галузі, а також в напрямку розширення сфер застосування отриманих знань, умінь і досвіду.
- за бажанням аспірантів, допускається вивчення матеріалу за допомогою онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

Види контролю знань студентів з дисципліни:

- відповіді на лекціях та практичних заняттях;
- виконання МКР;
- відповідь на екзамені.

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

- 1) 4 відповіді в середньому кожного студента при фронтальному експрес-опитуванні на лекціях;
- 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 — 3. Максимальна кількість балів студента на всіх лекційних заняттях дорівнює $r_1=4 \times 3 = 12$ балів.

Критерії оцінювання:

3 бали — повна вірна відповідь; **1– 2 бали** — неповна відповідь; **0 балів** — невірна або відсутня відповідь.

8.2. Опитування на практичних заняттях

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів аспіранта 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 виконану МКР: $r_3 = 18$ балів.

Рейтингові бали за модульну контрольну роботу

Бали	Критерій оцінювання
18	Зауважень до роботи немає, є чіткі повні відповіді на всі питання
15...17	Зауваження до роботи не суттєві, є чіткі відповіді на всі питання
8...14	Є певні зауваження до роботи, достатні відповіді на всі питання
1...7	Зауваження до роботи суттєві, відповіді на питання не повні
0	Зауваження до роботи дуже суттєві, або відповідей на запитання немає

Максимальна кількість штрафних балів – 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.

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

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

8.4. Критерії оцінювання екзамену

Екзамен проводиться у письмово–усній формі. Екзаменаційне завдання складається з двох питань: теоретичного (вага кожного питання 10 балів) та практичного завдання (30 балів). Максимальна кількість балів заліку становить **10+10+30 = 50 балів**.

Критерії оцінювання:

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – **9...10 (27...30) балів;**

- достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – **7...8 (21...26) балів**;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – **5...6 (18...20) балів**;
- незадовільна відповідь (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше **5 (18) балів**.

Штрафні бали:

- додаткове питання з тем лекційного курсу та практичних занять отримують аспіранти, які не брали участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на **3 бали**.

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;

$$R_c = 12+20+18 = 50 \text{ балів.}$$

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС та індивідуальних завдань та стартовий рейтинг не менше 25 балів.

Аспіранти, які набрали у семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 25 балів, або не виконали умов допуску на екзамен, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

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

Таким чином максимальна кількість балів при здачі екзамену за рейтинговою шкалою 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

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100–бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Аспірантам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого (тобто $R_c \geq 45$), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 50 + \frac{50 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де R – оцінка за 100–бальною шкалою;

R_i – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

R_c – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

R_D – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Аспіранти мають право і можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (детальніше: https://osvita.kpi.ua/2020_7-170, https://document.kpi.ua/files/2020_7-170.pdf).

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 студентів 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)

1. Дистанційне навчання:

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі Zoom).

2. Навчання в умовах правового режиму воєнного стану:

- передбачає проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);
- у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються

3. Для аспірантів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):

- сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;
- сертифікатів, які підтверджують участь у науково-практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;
- публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.

Додаток 1

Приклади завдань для екзаменаційної роботи

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).

Практичне завдання

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 .

Необхідні дані див. у 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

Додаток 2

Приклади питань до 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?

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором, докт. фіз.-мат наук, чл.кор. *Воропаєвим Геннадієм Олександровичем*

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 15/а від 30. 06. 2022 р.)

Погоджено Методичною комісією ТЕФ (протокол № 9 від 30. 06. 2022 р.)