



ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПРИМЕЖОВОГО ШАРУ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

• Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>105 Прикладна фізика та наноматеріали</i>
Освітня програма	<i>Прикладна фізика</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>6 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 (150)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/ МКР, ДКР</i>
Розклад занять	http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.ф.-м.н., Димитрієва Наталія Федорівна, dimitrievanf@gmail.com Практичні: к.ф.-м.н., Димитрієва Наталія Федорівна, dimitrievanf@gmail.com
Розміщення курсу	http://phes.ipt.kpi.ua/osnovy-teoriyi-prymezhevogo-sharu https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1832

• Програма навчальної дисципліни

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

Курс «Основи теорії примежового шару» має велике значення у підготовці фахівців в області прикладної фізики та наноматеріалів, що навчає формалізувати, моделювати та вирішувати складні актуальні задачі фізики суцільних середовищ в наближенні примежового шару.

Основною метою навчальної дисципліни «Основи теорії примежового шару» є формування у студентів компетентностей:

- моделювати та розв'язувати задачі фізики суцільних середовищ в наближенні примежового шару;
- моделювати та розв'язувати задачі теорії примежового шару при ламінарному та турбулентному режимах;

Основні завдання кредитного модуля. Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

- поняття про примежовий шар в теорії процесів переносу імпульсу, тепла та маси, моделей турбулентного примежового шару, законів опору тертя;
- розв'язувати характерні задачі теорії примежового шару, зокрема, при ламінарному та турбулентному режимах, в нестационарній та стаціонарній постановках;
- розрізняти та застосовувати найбільш розповсюджені моделі турбулентності;

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

Міждисциплінарні зв'язки: курс «Основи теорії примежового шару» безпосереднім чином ґрунтується на курсах «Фізика суцільних середовищ», «Моделювання фізичних процесів», «Теорія гідродинамічної стійкості» та «Основи конвективного теплообміну».

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Основи теорії примежового шару» можна використовувати в подальшому під час навчання спеціалізованих дисциплін фізико-енергетичного циклу.

Необхідні навички:

1. Моделювати та розв'язувати типові задачі визначення просторово-часових полів параметрів суцільних середовищ при заданих крайових умовах.
2. Самостійно формулювати, аналізувати і розв'язувати задачі стійкості характерних течій в області гідрогазодинаміки, процесів тепло- та масообміну.
3. Самостійно формулювати, аналізувати і розв'язувати задачі в області законів перенесення теплоти конвективним теплообміном.
4. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ

Розділ 1. *Ламінарна та турбулентна течії.*

- Тема 1.1 Режими руху рідини. Ламінарно-турбулентний перехід.
- Тема 1.2 Осереднений і пульсаційний рух. Турбулентні напруження і потоки тепла.
- Тема 1.3 Математичний опис турбулентного потоку.
- Тема 1.4 Структура пристінної турбулентної течії.
- Тема 1.5 Розрахункові підходи до опису турбулентної течії.
- Тема 1.6 Диференційні моделі турбулентності.

Розділ 2. *Моделювання примежового шару.*

- Тема 2.1. Поняття про примежовий шар.
- Тема 2.2. Диференційні рівняння примежового шару.
- Тема 2.3. Інтегральні рівняння примежового шару.
- Тема 2.4. Закони тертя та теплообміну. Консервативність до зміни граничних умов.
- Тема 2.5. Основи теорії локального моделювання.

Розділ 3. *Розв'язок характерних задач теорії примежового шару.*

- Тема 3.1. Застосування диференційних рівнянь примежового шару до розв'язку задач ламінарної течії.
- Тема 3.2. Застосування інтегральних співвідношень примежового шару до розв'язку задач ламінарної течії.
- Тема 3.3. Задача про турбулентну течію в початковій ділянці круглої труби.
- Тема 3.4. Задача про плоский затоплений турбулентний струмінь.
- Тема 3.5. Плоский спутний струмінь.

Розділ 4. *Чисельний розв'язання задач гідродинаміки та теплообміну за методом скінченних об'ємів.*

- Тема 4.1. Загальні положення.
- Тема 4.2. Дискретизація конвективного члена.
- Тема 4.3. Дискретизація дифузійного, джерельної і нестационарного членів.
- Тема 4.4. Дискретний аналог рівняння переносу.
- Тема 4.5. Дискретна форма рівнянь переносу імпульсу.
- Тема 4.6. Взаємопов'язана процедура корекції полів тиску і швидкості.
- Тема 4.7. Техніка нижньої релаксації і критерії збіжності.
- Тема 4.8. Корекція P_{xi} – Чоу.
- Тема 4.9. Розв'язання систем лінійних рівнянь.
- Тема 4.10. Приклад чисельного розрахунку плоского затопленого турбулентного струменю.

Розділ 5. *Керування примежовим шаром.*

- Тема 5.1. Методи, що передбачають зміну граничних умов на обтічній поверхні.

Тема 5.2. Методи, що впливають на структуру течії за рахунок зміни умов усередині пограничного шару.

Тема 5.3. Поєднання декількох методів керування примежовим шаром.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Халатов, А. А. Основи теорії примежового шару [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / А. А. Халатов, Є. В. Мочалін, Н. Ф. Димитрієва ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,86 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 191 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/26035> (Розділ 1-4)
2. Димитрієва Н. Ф. Моделювання турбулентних течій розведених розчинів полімерів: дис ... канд. фіз.-мат. наук : 01.02.05 / Димитрієва Наталія Федорівна. – Київ, 2011. – 172 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33718> (Розділ 1,2,5)

Допоміжна література

3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г.Лойцянский. – М.: Наука, 1987. – 840 с. <https://drive.google.com/file/d/1I8ktCQ7DFiudzcg9OmTzEquBb9SNq91P/view?usp=sharing> (Розділ 1-3)
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г.Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 712 с. https://drive.google.com/file/d/1jBJOatjhIab6INH2W-V_2G8fIOfhjL5P/view?usp=sharing https://drive.google.com/file/d/1-PR3NiriPhB1Kkv_Nu2jJTD66Ajeo9qV/view?usp=sharing (Розділ 2; Тему 1.1, 3.1, 3.2)
5. Ландау Л.Д. Теоретическая физика, том VI, Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М. : Наука. – 1986. – 736 с. https://drive.google.com/file/d/1jZalKmavl2xWvoi7BNn4m6_aa2pX3IRt/view?usp=sharing (Тему 1.2, 2.3)
6. Повх И.Л. Техническая гидромеханика / И.Л.Повх. Л.: Машиностроение. 1976. <https://drive.google.com/file/d/1wsmkMg1hM5Z9uf0nQ3Oh8Suqy99caYYR/view?usp=sharing> (Розділ 1-3)
7. Кутателадзе С.С. Пристенная турбулентность / С.С. Кутателадзе.– Новосибирск: Наука, 1973. – 227 с. <https://drive.google.com/file/d/103xdz-6wNysbV7ECKOobIFdA9p6rZKep/view?usp=sharing> (Тему 1.2, 2.1, 2.2)
8. Мочалин Е.В. Математическое моделирование и приближенное решение инженерных задач механики. Учеб. пособие / Е.В. Мочалин. – Алчевск: ДГМИ, 1998.- 142с. (Тему 1.3, 2.3)
9. Федяевский К.К. Расчет турбулентного пограничного слоя несжимаемой жидкости / К.К. Федяевский, А.С. Гиневский, А.В. Колесников.– Л.: Судостроение, 1973. – 256 с. (Тему 2.4, 2.5, 3.3)
10. Хинце И.О. Турбулентность. Ее механизм и теория / И.О. Хинце. – М.: Физматгиз, 1963. – 680 с. https://drive.google.com/file/d/1fWRerc9PZUgqMIYx_BvTqRfduCQWnIsF/view?usp=sharing (Розділ 1; Тема 2.5)
11. Єфремов І.І. Основи механіки рідини та газу / І.І.Єфремов, В.М.Турик. – К.: НМК ВО, 1990. – 84 с. (Тема 1.1)
12. Приходько А.А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене / А.А.Приходько. – К.: Наукова думка, 2003. – 380 с. <https://drive.google.com/file/d/1cIPLVrKm8ZYh1MAAH3bitdZIMf4fWHku/view?usp=sharing> (Тему 1.4, 1.5, Розділ 4)
13. Себеси Т. Модели турбулентности для пристенных пограничных слоев / Т. Себеси, К.К. Ченг, К. Ли, Д.Х. Уайтлоу // Аэрокосмическая техника. – 1986. – Т. II, № 11. – С. 157–159. (Тема 1.6)
14. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй / Г. Н. Абрамович.– М.: Физматгиз, 1960.– 715 с. https://drive.google.com/file/d/1NF5BcbdP5aB49WSgG669MGHQBxPr-x_/view?usp=sharing (Тему 3.4, 3.5)

15. Тепломасообмен и теплогидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков / А.А. Халатов, И.И. Борисов, С.В. Шевцов. – К.: Ин-т техн. теплофизики НАН Украины, 2005. – 500 с. (Розділ 5; Тема 2.4)

Інформаційні ресурси

- **Fluid Mechanics II - Dr. John Biddle's lecture series. Fluid Mechanics: Laminar Boundary Layer on a Flat Plate.** – https://www.youtube.com/watch?v=dEg896XFgkw&list=PLZOZfX_TaWAE7uM59dIBr-rH73WTJCcp_&index=13
- **Fluid Mechanics II - Dr. John Biddle's lecture series. Fluid Mechanics: Turbulent Boundary Layer on a Flat Plate.** – https://www.youtube.com/watch?v=SpkYBNdSOhQ&list=PLZOZfX_TaWAE7uM59dIBr-rH73WTJCcp_&index=14
- **Fluid Mechanics II - Dr. John Biddle's lecture series. Fluid Mechanics: Drag Forces on Blunt Bodies.** – https://www.youtube.com/watch?v=5keyzcDISP8&list=PLZOZfX_TaWAE7uM59dIBr-rH73WTJCcp_&index=15

● **Навчальний контент**

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Теми дисципліни взаємозв'язані, матеріал вивчається в логічній послідовності. На заняттях розкриваються найбільш суттєві питання, які дозволяють забезпечити студентам можливість глибокого самостійного вивчення всього програмного матеріалу.

Теоретичні і практичні знання поглиблюються шляхом самостійної роботи з використанням рекомендованої літератури та глобальної мережі Internet. Опубліковано навчальний посібник [1] під Грифом КПІ ім. Ігоря Сікорського, який значною мірою узгоджується з навчальною програмою дисципліни «Основи теорії примежового шару».

На заняттях використовуються звичайна дошка, а також презентації лекцій та практичних занять з використанням мультимедіапроектора. Контроль засвоєння навчального матеріалу здійснюється індивідуальним опитуванням, контрольною роботою та заліком.

5.1 Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)
1	<i>Режими руху рідини. Ламінарно-турбулентний перехід. Профіль швидкості при ламінарному та турбулентному режимах. Коефіцієнт перемешовування.</i> Література: [1], [3], [4], [11] Завдання на СРС: Число Рейнольдса як характеристика режиму течії
2	<i>Осереднений і пульсаційний рух. Турбулентні напруги та потоки тепла. Характеристики турбулентності: вільність, однорідність, ізотропність. Масштаби турбулентності.</i> Література: [1], [2], [5-7] Завдання на СРС: Поділ всіх характеристик (швидкість, тиск, температура, концентрація та ін.) на осереднену та пульсаційну складові. Правила усереднювання, кореляція величин
3	<i>Математичний опис турбулентного потоку. Рівняння руху осереднене за Рейнольдсом (RANS), тензор турбулентних напруг. Турбулентна в'язкість.</i> Література: [1], [3], [8] Завдання на СРС: Рівняння переносу тепла та маси при турбулентному режимі.
4	<i>Структура пристінної турбулентної течії. Теорія «шляху перемішування» Л.Прандтля. Двошарова і тришарова модель турбулентного примежового шару.</i> Література: [[1-3], [12] Завдання на СРС: Безшарова модель турбулентного примежового шару Ван-Дриста. Обезрозмірювання за динамічними параметрами.
5	<i>Розрахункові підходи до опису турбулентної течії. Підходи до моделювання турбулентності RANS, LES, DNS. Гіпотеза Бусінеска.</i>

	Література: [1], [3], [6], [12] Завдання на СРС: Порівняльна характеристика RANS, LES та DNS підходів.
6	<i>Диференційні моделі турбулентності. Баланс енергії турбулентності. $k - \epsilon$, $k - \omega$ моделі.</i> Література: [1], [2], [12], [13] Завдання на СРС: SST $k - \omega$ модель Ментера, модель Спаларта–Аллмареса, модель переносу напружень Рейнольдса Лаундера-Риса-Роді.
7	<i>Поняття про примежовий шар. Структура і характеристики примежового шару.</i> Література: [1], [4], [6], [7] Завдання на СРС: Тепловий та дифузійний примежовий шар.
8	<i>Диференційні рівняння примежового шару. Рівняння переносу імпульса Нав'є-Стокса в наближенні примежового шару. Умови малості величин, порядок складових рівняння. Залежність числа Рейнольдса від параметрів примежового шару.</i> Література: [1], [4], [7] Завдання на СРС: Рівняння переносу тепла та маси в наближенні примежового шару.
9	<i>Інтегральні рівняння примежового шару. Товщина примежового шару, товщина втрати імпульсу, товщина витіснення.</i> Література: [1], [5], [8] Завдання на СРС: Рівняння енергії, товщина втрати енергії
10	<i>Закони тертя та теплообміну. Консервативність до зміни граничних умов. Закони подібності.</i> Література: [1], [9], [15] Завдання на СРС: Імпіричні співвідношення та експериментальні результати законів тертя і теплообміну за різних граничних умов
11	<i>Основи теорії локального моделювання. Тепловіддача на пластині. Поверхневе тертя на пластині.</i> Література: [1], [9], [10] Завдання на СРС: Теорія пограничного шару з вироджуваною в'язкістю
12	<i>Розв'язок задач ламінарної течії. Застосування диференційних рівнянь примежового шару до розв'язку задач ламінарної течії. Застосування інтегральних співвідношень примежового шару до розв'язку задач ламінарної течії</i> Література: [1], [3], [4] Завдання на СРС: Автомодельність профілів динамічного, теплового та дифузійного примежового шару. Тепловіддача пластини з ламінарним примежовим шаром залежно від числа Pr.
13	<i>Задача про турбулентну течію в початковій ділянці круглої труби. Рівняння вісесиметричної течії, основні припущення для розв'язку задачі. Розв'язання рівняння імпульсів.</i> Література: [1], [9] Завдання на СРС: Розв'язання рівняння енергії. Визначення довжини ділянки гідродинамічної стабілізації
14	<i>Задача про плоский затоплений турбулентний струмінь. Близькість задачі про затоплений струмінь до задачі примежового шару Принципова розрахункова схема струменя: початкова, перехідна та основна ділянка.</i> Література: [1], [14] Завдання на СРС: Оцінка ежекційних властивостей затопленого струменя.
15	<i>Плоский спутний струмінь. Параметр супутності.</i> Література: [1], [14] Завдання на СРС: Залежність довжини початкової ділянки струменя від параметра супутності
16	<i>Керування примежовим шаром. Методи, що передбачають зміну граничних умов на обтічній поверхні: вихорогенератори, мікроелектронні системи, та ін.</i> Література: [2].
17	<i>Керування примежовим шаром. Методи, що впливають на структуру течії за</i>

	<i>рахунок зміни умов усередині примежового шару.: газів бульбашки, домішки ПАР або полімерів та ін.</i> Література: [2]
18	<i>Керування примежовим шаром. Поєднання декількох методів керування примежовим шаром.</i> Література: [2]

5.2 Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять: уміння розв'язувати характерні задачі теорії примежового шару при ламінарному та турбулентному режимах, в нестационарній та стаціонарній постановках, розрізняти та застосовувати найбільш розповсюджені моделі пристінної турбулентності.

№ з/п	Назва теми заняття
1.	Застосування диференціальних рівнянь примежового шару до розв'язку задач ламінарної течії.
2-3.	Застосування інтегральних співвідношень примежового шару до розв'язку задач ламінарної течії
4	Задача про турбулентну течію в початковій ділянці круглої труби
5	Модульна контрольна робота
6	Задача про плоский затоплений турбулентний струмінь
7	Задача про плоский спутний турбулентний струмінь
8	Захист домашньої контрольної роботи
9	Залік

6. Самостійна робота студента (СРС)

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
1	<i>Тема 1.1 Режими руху рідини. Ламінарно-турбулентний перехід.</i> Число Рейнольдса як характеристика режиму течії Література: [1], [3], [4], [11]	3
2	<i>Тема 1.2 Осереднений і пульсаційний рух. Турбулентні напруги та потоки тепла.</i> Поділ всіх характеристик (швидкість, тиск, температура, концентрація та ін.) на осереднену та пульсаційну складові. Правила усереднювання, кореляція величин Література: [1], [2], [5-7]	3
3	<i>Тема 1.3 Математичний опис турбулентного потоку</i> Рівняння переносу тепла та маси при турбулентному режимі. Література: [1], [3], [8]	3
4	<i>Тема 1.4 Структура пристінної турбулентної течії</i> Безшарова модель турбулентного примежового шару Ван-Дриста. Обезрозмірювання за динамічними параметрами. Література: [1-3], [12]	3
5	<i>Тема 1.5 Розрахункові підходи до опису турбулентної течії.</i> Порівняльна характеристика RANS, LES та DNS підходів. Література: [1], [3], [6], [12]	3
6	<i>Тема 1.6 Диференціальні моделі турбулентності</i> SST $k-\omega$ модель Ментера, модель Спаларта-Аллмареса, модель переносу напружень Рейнольдса Лаундера-Риса-Роді. Література: [1], [2], [12], [13]	3
7	<i>Тема 2.1. Поняття про примежовий шар</i> Тепловий та дифузійний примежовий шар. Література: [1], [4], [6], [7]	3

8	Тема 2.2. Диференційні рівняння примежового шару Рівняння переносу тепла та маси в наближенні примежового шару. Література: [1], [4], [7]	3
9	Тема 2.3. Інтегральні рівняння примежового шару Рівняння енергії, товщина втрати енергії Література: [1], [5], [8]	3
10	Тема 2.4. Закони тертя та теплообміну. Консервативність до зміни граничних умов. Імпіричні співвідношення та експериментальні результати законів тертя і теплообміну за різних граничних умов Література: [1], [9], [15]	3
11	Тема 2.5. Основи теорії локального моделювання Теорія пограничного шару з вироджуваною в'язкістю Література: [1], [9], [10]	3
12	Тема 3.1. Застосування диференційних рівнянь примежового шару до розв'язку задач ламінарної течії Автомодельність профілів динамічного, теплового та дифузійного примежового шару. Література: [1], [3], [4]	3
13	Тема 3.2. Застосування інтегральних співвідношень примежового шару до розв'язку задач ламінарної течії Тепловіддача пластини з ламінарним примежовим шаром залежно від числа Pr. Література: [1], [3], [4]	3
14	Тема 3.3. Задача про турбулентну течію в початковій ділянці круглої труби Розв'язання рівняння енергії. Визначення довжини ділянки гідродинамічної стабілізації Література: [1], [9]	3
15	Тема 3.4. Задача про плоский затоплений турбулентний струмінь Оцінка ежекційних властивостей затопленого струменя. Література: [1], [14]	3
16	Тема 3.5. Плоский спутний струмінь Залежність довжини початкової ділянки струменя від параметра супутності Література: [1], [14]	3
17	Тема 4.1. Загальні положення. Інтегрування за об'ємом рівняння переносу. Література: [1], [12]	2
18	Тема 4.2. Дискретизація конвективного члена. Визначення конвективного потоку для контрольного об'єму. Література: [1], [12]	2
19	Тема 4.3. Дискретизація дифузійного, джерельної і нестационарного членів Порядок точності апроксимації членів рівняння переносу Література: [1]	2
20	Тема 4.4. Дискретний аналог рівняння переносу. Умови збіжності ітераційних методів розв'язку систем лінійних рівнянь Література: [1]	2
21	Тема 4.5. Дискретна форма рівнянь переносу імпульсу. Дискретний аналог рівняння руху для кожної компоненти швидкості та рівняння нерозривності. Література: [1], [12]	2
22	Тема 4.6. Взаємопов'язана процедура корекції полів тиску і швидкості. Алгоритми зв'язку полів тиску і швидкості PISO, SIMPLE та PIMPLE. Література: [1]	2
23	Тема 4.7. Техніка нижньої релаксації і критерії збіжності. Похибки і коефіцієнти релаксації. Література: [1], [12]	2

24	Тема 4.8. Корекція P_{xi} – Чоу. Згладжувальні поправки до значення нормальної швидкості на грані комірки. Література: [1]	2
25	Тема 4.9. Розв'язання систем лінійних рівнянь. Метод Гауса–Зейделя. Метод алгебраїчного багатосіткового прискорювача (Algebraic Multigrid – AMG). Література: [1]	2
26	Тема 4.10. Приклад чисельного розрахунку плоского затопленого турбулентного струменя. Розрахункова схема для чисельного моделювання задачі плоского затопленого струменя. Граничні умови для характеристик турбулентності у вхідному перерізі потоку. Література: [1]	2
27	Підготовка до модульної контрольної роботи Матеріал розділів 1-3 Література: [1-15]	5
28	Виконання домашньої контрольної роботи Тема на вибір студента. Підготовка, виконання розрахунків, обробка та аналіз результатів, оформлення. Підготовка до захисту. Література: [1-15]	16
29	Підготовка до заліку. Матеріал розділів 1-4 Література: [1-15]	7

● Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Студентам рекомендується відвідувати заняття. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички. Відсутність на лекційних і практичних заняттях, без поважних причин штрафується від'ємними балами.

Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Участь в олімпіадах, публікаціях, студентських наукових конференціях, розробці дидактичних матеріалів (за тематикою навчальної дисципліни)	+10 балів	Несвоєчасне виконання контрольної роботи без поважних причин	-3 бали

Пропущені контрольні заходи

Результат модульної контрольної роботи для студента, який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, студент(-ка) має можливість написати модульну контрольну роботу, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів. Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається.

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

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>.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

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

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

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

Поточний контроль: практичні роботи, МКР, ДКР

Календарний контроль: атестація проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.

Критерій		Перша атестація	Друга атестація	
Термін атестації		8-ий тиждень	14-ий тиждень	
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг	≥ 6 балів	≥ 25 балів	
	Поточний контрольний захід	Модульна контрольна робота	-	+
	Практичні роботи	ПР №1	+	+
		ПР №2	+	+
		ПР №3	+	+
		ПР №4	-	+
ПР №5		-	+	

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю:

Обов'язкові:

- Модульна контрольна робота.
- Домашня контрольна робота.
- Виконані всі практичні роботи.
- **Поточний рейтинг RD ≥ 30 балів.**

Необов'язкові:

- Активність на практичних заняттях.
- Позитивний результат першої атестації та другої атестації.
- Відвідування лекційних занять.

Протягом семестру студент отримує бали за такі види роботи:

1. Практичні заняття складаються з п'яти робіт. Максимальна кількість балів – 25. За кожен окрему роботу студент отримує:
 - гарна підготовка до роботи за результатами вхідного контролю, самостійне та повне виконання індивідуального завдання по роботі, глибоке розкриття питань під час співбесіди – 5 балів;
 - готовність до роботи, повне і в цілому самостійне виконання індивідуального завдання, розкриття питань під час співбесіди – 4 балів;
 - виконання індивідуального завдання, частково правильні відповіді під час співбесіди – 1-3 балів;
 - незадовільні результати виконання – 0 балів.

2. Модульна контрольна робота. Максимальна кількість балів – 20.
 - вичерпна відповідь – 17 – 20 балів;
 - відповідь з незначними неточностями – 13-16 балів;
 - неповна відповідь та незначні помилки – 9 – 12 балів;
 - грубі помилки – 4-8
 - незадовільна відповідь – 0 балів.
3. Домашня контрольна робота. Максимальна кількість балів – 10.
 - Стартова складова. Максимальна кількість балів – 15.

Оцінюється правильність вибору математичної моделі поставленої задачі, методів розрахунків, якісний та кількісний аналіз результатів, а також своєчасність виконання.
 - Захист. Максимальна кількість балів – 10.

Оцінюється ступінь володіння матеріалом, повнота аналізу отриманих результатів розрахунку, вміння захищати свою думку.
4. Самостійна робота. Виконання додаткових практичних завдань підвищеної складності. Максимальна кількість балів – 10.
5. Штрафні та заохочувальні бали:
 - відсутність на лекції без поважних причин (-0,5 балів). Максимальна кількість балів – -9.
 - відсутність на практичному занятті без поважної причини (-0,5 балів). Максимальна кількість балів – -4;
 - несвоєчасне виконання контрольної роботи без поважних причин – -3 бали;
 - участь в олімпіадах, публікаціях, студентських наукових конференціях, розробці дидактичних матеріалів (за тематикою навчальної дисципліни) – +10 балів.
6. Залік. Проводиться на останньому за розкладом занятті. Умовою допуску до складання заліку є виконання всіх практичних робіт, модульної контрольної роботи, домашньої контрольної роботи та рейтинг більший за 30 балів. Студенти, які мають попередній рейтинг більший за 60 балів, (у тому числі ті, що не з'явилися на заключне заняття) можуть отримати оцінку «автоматом» відповідно до попередньо набраного рейтингу з дисципліни. Складається з трьох запитань максимальною кількістю 30 балів.
 - вичерпна відповідь – 26 – 30 балів;
 - відповідь з незначними неточностями – 21-25 балів;
 - неповна відповідь та незначні помилки – 16 – 20 балів;
 - грубі помилки – 5-15
 - незадовільна відповідь – 0 балів.

Розрахунок шкали рейтингу:
 $R_c = 25 + 20 + 15 + 10 + 30 = 100$ балів

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Завдання МКР відповідають наступним питанням:

- Профіль швидкості ламінарного примежового шару.
- Профіль швидкості турбулентного примежового шару.
- тензор турбулентних напруг.
- Критичне число Рейнольдса.
- Масштаби турбулентності.
- Класифікація моделей турбулентності.

- Гіпотеза Бусінеска.
- Моделі турбулентної в'язкості.
- Баланс енергії турбулентності.
- Рівняння переносу швидкості дисипації.
- Рівняння Нав'є-Стокса в наближенні примежового шару.
- Товщина втрати імпульсу, товщина витіснення.
- Подібність примежового шару.
- Тепловий та дифузійний примежовий шар.
- Закони тертя.

Завдання ДКР:

- Дослідження характеристик примежового шару на плоскій пластині.
- Дослідження характеристик примежового шару в круглій трубі (вісесиметричний випадок).
- Дослідження характеристик примежового шару в плоскому вузькому (менше товщини примежового шару) каналі.
- Дослідження характеристик плоского затопленого струменю.
- Дослідження характеристик вісесиметричного затопленого струменю.

Студент може самостійно обрати завдання до домашньої контрольної роботи з представленого списку або запропонувати свою. Вихідні дані надаються кожному студенту індивідуально.

Питання до заліку:

- Режими течії. Порівняльна характеристика.
- Число Рейнольдса як характеристика течії
- Критичне число Рейнольдса.
- Режими течії. Залежність характеристик турбулентної течії від часу.
- Осереднений і пульсаційний рух.
- Ламінарна течія.
- Профіль швидкості ламінарного примежового шару.
- тензор турбулентних напруг.
- Масштаби турбулентності.
- Гіпотеза Бусінеска.
- Моделі турбулентної в'язкості.
- Баланс енергії турбулентності.
- Рівняння переносу швидкості дисипації.
- Рівняння Нав'є-Стокса в наближенні примежового шару.
- Товщина втрати імпульсу, товщина витіснення.
- Подібність примежового шару.
- Профіль швидкості турбулентного примежового шару.
- Тепловий та дифузійний примежовий шар.
- Закони тертя.
- Рівняння Рейнольдса. Фізичний зміст його складових.
- Турбулентний примежовий шар.
- Переваги та недоліки RANS моделей турбулентності.
- Алгебраїчні моделі турбулентності.
- k-ε модель турбулентності.
- Керування турбулентним примежовим шаром. Характеристики одного з методів.
- Керування турбулентним примежовим шаром. Поєднання декількох методів.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено:

В.о. зав. каф. ФЕС, д.т.н., проф. Халатов Артем Артемович
ас., к.ф.-м.н, Димитрієва Наталія Федорівна

Ухвалено кафедрою Фізики енергетичних систем (протокол № 2 від 04.09.2020)

Затверджено Вченою радою Фізико-технічного інституту (протокол № 7/1 від 07.09.2020)