



ФІЗИКА СУЦІЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

7. Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	10 — Природничі науки
Спеціальність	105 — Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма	Прикладна фізика
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити (120 годин)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	залік
Розклад занять	Лекції 18 годин, практичні 18 годин, 1 модульна контр. робота
Мова викладання	Українська/Англійська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: канд. наук, професор, Турик Володимир Миколайович, Turick46@gmail.com Практичні: канд. наук, професор, Турик Володимир Миколайович Turick46@gmail.com
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua

8. Програма навчальної дисципліни

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

Фізика суцільних середовищ — це розділ фізики, загальним змістом якого є вивчення законів рівноваги та руху суцільних середовищ — рідин, газів, деформованих твердих тіл — у полях масових сил з урахуванням термодинамічних і електромагнітних ефектів. У фізиці суцільних середовищ (ФСС) теоретичне вивчення руху реальних середовищ і фізичних явищ в них у більшості випадків базується на моделі матеріального континуума. Малі рухомі індивідуальні або субстанціальні (тобто які складаються з однієї і тої самої речовини) об'єми («частинки») середовища розглядаються як термодинамічні системи, стан яких характеризується скінченною кількістю визначальних параметрів. Часто, в залежності від головного профілю підготовки фахівців, окремі складові ФСС, що містять основні поняття механіки рідин і газів (МРГ), теорії пружності, термодинаміки і електродинаміки, виділяються в окремі дисципліни. З огляду на цей фактор в даному випадку головну увагу в дисципліні ФСС приділено основним питанням МРГ з необхідними елементами термодинаміки і, частково, електромагнітної гідрогазодинаміки. Оволодіння основними положеннями ФСС є необхідною передумовою професійної діяльності фахівців в галузі прикладної фізики, зокрема фізики енергетичних систем, а також в галузі новітніх нанотехнологій.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів базових знань, необхідних для здатностей: ставити, аналізувати та розв'язувати задачі визначення просторово-часових полів

параметрів суцільних середовищ, що перебувають у станах рівноваги, руху, взаємодії з твердими тілами при заданих початкових і граничних умовах; здійснювати постановку аналітичного, чисельного та експериментального моделювання відповідних явищ і процесів, що є ключовою частиною розрахунків та проектування раціональних елементів і конструкцій об'єктів енергетичних систем, новітніх нанотехнологій, а також лабораторних установок для теплофізичних досліджень; розробляти перспективні напрямки розвитку енергетичних систем, включаючи системи новітніх джерел енергії, МГД-машин, експериментальні установки для досліджень в галузях водневої і термоядерної енергетики, технологій застосування плазмотронів тощо.

Предмет вивчення дисципліни ФСС: механічні, термодинамічні та акустичні властивості рідин і газів; основи гідрогазостатики; кінематика суцільних середовищ; динаміка ідеальних і в'язких рідин і газів; елементи теорії потенціальних течій; основні поняття примежового шару та відривних (у тому числі кавітаційних) течій; елементи газової динаміки.

Вміння самостійно формулювати, аналізувати та розв'язувати задачі рівноваги та руху газів, а також їх взаємодії з обтічними тілами дозволять студентам набутти таких **компетентностей** (відповідно до ЗКІ–10, ФКІ–10 Освітньої програми): застосування набутих методологій та прийомів щодо розрахунків, аналізу роботи та оптимізації елементів і конструкцій енергетичних установок, машин, споруд, обладнання для фізичних досліджень, в тому числі в галузі новітніх нанотехнологій.

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

Дисципліна ФСС передбачає попереднє засвоєння матеріалу математичного аналізу, алгебри та геометрії, диференціальних рівнянь, тензорного аналізу, теорії комплексної змінної, загальної фізики, термодинаміки. Курс забезпечує теоретичну та практичну підготовку для наступного вивчення дисциплін з моделювання фізичних процесів, теорії конвективного теплообміну, фізики горіння та інших, що пов'язані з розрахунками і дослідженнями фізичних процесів в енергетичних машинах, апаратах та системах.

Зміст навчальної дисципліни

Семестровий (кредитний) модуль.

Розділ 1. Вступ до курсу ФСС. Фізичні моделі та властивості суцільних середовищ.

Тема 1. Предмет, методи, гіпотези й моделі фізики суцільних середовищ; сили й напруження, що діють у них.

Тема 2. Основні фізичні властивості, термодинамічні та гідромеханічні моделі рідин і газів.

Розділ 2. Кінематика суцільних середовищ.

Тема 1. Методи вивчення руху, кінематичні поняття й характеристики руху рідких частинок і потоків.

Тема 2. Елементи теорії вихрових течій.

Розділ 3. Напружений стан рідин і газів.

Тема 1. Зв'язок між напруженнями в точці (формула Коші). Тензор напружень та його властивість. Основне рівняння динаміки суцільного середовища «в напруженнях».

Тема 2. Елементи гідрогазостатики.

Розділ 4. Динаміка ідеальної рідини.

Тема 1. Рівняння руху ідеальної рідини, початкові та крайові умови, основні інтеграли.

Тема 2. Динаміка вихорів в ідеальній рідині.

Розділ 5. Динаміка в'язкої рідини.

Тема 1. Диференціальні рівняння Нав'є-Стокса. Елементи теорії подібності й моделювання гідрогазодинамічних явищ. Врахування пондеромоторної сили. Енергетичний баланс в'язких одновимірних течій нестисливої рідини. Гідралічні втрати напорі та тиску.

Тема 2. Ламінарна течія та її характеристики. Турбулентність, її структура та характеристики.

Тема 3. Рейнольдсів тензор турбулентних напружень. Напівемпіричні теорії турбулентного переносу для простих типів течій. Закони розподілу швидкості та опору для труб.

Тема 4. Основні концепції сучасного комп'ютерного моделювання в'язких течій.

Розділ 6. Поняття примежового шару та відривних течій.

Тема 1. Гідродинамічний примежовий шар та його основні характеристики.

Тема 2. Рівняння Прандтля примежового шару. Задача Блазіуса.

Тема 3. Відрив примежового шару. Відривні кавітаційні течії.

Розділ 7. Рух газу з до- та надзвуковими швидкостями.

Тема 1. Вихідні рівняння та газодинамічні співвідношення.

Тема 2. Способи одержання надзвукових швидкостей.

Тема 3. Первинні поняття про ударні хвилі та хвильовий опір.

10. 4. Навчальні матеріали та ресурси

базова (підручники, навчальні посібники) література

1. Лойцянский Л.Г. *Механика жидкости и газа.* – М.: Наука, 1987. – 840 с.
2. Повх И.Л. *Техническая гидромеханика.* – Л.: Машиностроение, 1976. – 504 с.
3. Емцев Б.Т. *Техническая гидромеханика.* – М.: Машиностроение, 1987. – 440 с.
4. Войткунский Я.И., Фаддеев Ю.И., Федяевский К.К. *Гидромеханика.* – Л.: Судостроение, 1982. – 456 с.
5. Мхитарян А. М., Ушаков В. В., Баскакова А. Г., Трубенков В. Д. *Аэрогидромеханика; под общ. ред. А.М. Мхитаряна.* Москва: Машиностроение, 1984. 352 с.
6. Абрамович Г.Н. *Прикладная газовая динамика. Ч. 1,2.-* М.: Наука, 1991. – 600 с., 304 с.
7. Самойлович Г.С. *Гидрогазодинамика.-* М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
8. Каминер А.А., Яхно О.М. *Гидромеханика в инженерной практике.-* К.: Техніка, 1987. –175 с.
9. Яхно О.М., Желяк В.І. *Гідраліка ньютонівських рідин.-*К.: Вища школа, 1995.- 199 с.
10. Єфремов І.І., Турик В.М. *Основи механіки рідини та газу.* – К.: НМК ВО, 1990. – 84 с.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теоретическая физика. Т.6. Гидродинамика.* – М.: Наука, 1988. – 736 с.
12. Самойлович Г.С., Нитусов В.В. *Сборник задач по гидроаэромеханике.* – М.: Машиностроение, 1986. – 150 с.
13. Седов Л.И. *Механика сплошной среды. Т. 1, 2* – М.: Наука, 1973. – 536 с., 584 с.
14. Голубева О.В. *Курс механики сплошных сред.* – М.: Высшая школа, 1972. – 368 с.
15. Ильющин А.А., Ломакин В.А., Шмаков А.П. *Задачи и упражнения по механике сплошной среды.* – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1979. — 200 с.
16. Лотов К.В. *Физика сплошных сред.* – М.-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 144 с.
17. Векштейн Г.Е. *Физика сплошных сред в задачах.* – Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 208 с.
18. Учайкин И.В. *Механика. Основы механики сплошных сред. Задачи и упражнения.* – М.-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 196 с.
19. Приходько А.А. *Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене.* – К.: Наукова думка, 2003. – 380 с.

20. Юн А.А. Моделирование турбулентных течений. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. — 352 с.
21. Каулинг Т. Магнитная гидродинамика. — М.: Изд-во иностр. Лит., 1959. — 132 с.
22. Бай Ши-И. Магнитная газодинамика и динамика плазмы. — М.: Мир, 1964. — 304 с.
23. Черняк В.Г., Суетин П.Е. Механика сплошных сред. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 352 с.

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

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. 1,2.— М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1963. — 584 с., 728 с.
2. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. — М.: Наука, АН СССР, 1965. — 427 с.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. — М.: Наука, 1974. — 712 с.
4. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика. — М.: Наука, 1964. — 816 с.
5. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. — М.: ИЛ, 1951. — 520 с.
6. Прикладная гидромеханика / А.Н. Патрашев, Л.А. Кивако, С.И. Гожий; Под ред. А.Н. Патрашева. — М.: Воениздат, 1970. — 688 с.
7. Гинзбург И.П. Аэрогазодинамика (Краткий курс). — М.: ВШ, 1966. — 404 с.
8. Аэродинамика в вопросах и задачах / Н.Ф. Краснов, В.Н. Кошевой, А.Н. Данилов и др.; Под ред. Н.Ф. Краснова. — М.: ВШ, 1985. — 759 с.
9. Прикладная аэродинамика / Н.Ф. Краснов, В.Н. Кошевой, А.Н. Данилов и др.; Под ред. Н.Ф. Краснова. — М.: ВШ, 1974. — 732 с.
10. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. — Л.: Машиностроение, 1974. — 480 с.
11. Грабовский А.М., Иванов К.Ф., Дунчевский Г.Н. Гидромеханика и газовая динамика. Сборник задач. — К.: Вища школа, 1987. — 64 с.
12. Лабораторный практикум по аэрогазодинамике / А.В. Белова, А.И. Буравцев, М.А. Ковалев, С.К. Матвеев и др. — Л.: Изд. ЛГУ, 1980. — 288 с.
13. Колчунов В.І. Теоретична та прикладна гідромеханіка: Навч. посібник. — К.: НАУ, 2004. — 336 с.
14. Термогазодинамика сложных потоков около криволинейных поверхностей / А.А. Халатов, И.В. Шевчук, А.А. Авраменко, С.Г. Кобзарь, Т.А. Железная. — К.: Ин-т техн. теплофизики НАН Украины, 1999. — 300 с.
15. Тепломассообмен 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.
16. Аникеев А.А., Молчанов А.М., Янышев Д.С. Основы вычислительного теплообмена и гидродинамики. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. — 352 с.
17. Дешко В.І., В.О. Виноградов-Салтиков, В.Г. Федоров. Гідрогазодинаміка. — К.: НТУУ КПІ, 2014. — 416 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/7785>.
18. Альтман Е.І., Бошкова І.Л. Гідрогазодинаміка. — Одеса: Бондаренко М.О., 2019. — 188 с. <http://card-file.onaft.edu.ua/handle/123456789/8951>

додаткові електронні ресурси

1. znaio.com.ua>Фізика_суцільних_середовищ
2. [stat.phys.spbu.ru](http://stat.phys.spbu.ru/Courses/12.html)>Courses/12.html
3. physlg.net>to Students...Continuumphysics.aspx

4. <http://www.skif.biz/files/b46f4a.pdf>

рекомендації та роз'яснення

- *Всі базові літературні джерела є в бібліотеці КІІ 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 ФСС, зокрема механіки рідини і газів, з прикладами і методиками практичної реалізації, чого не можна отримати з жодного літературного джерела;*

11. Навчальний контент

12. 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	Предмет, методи, гіпотези й моделі фізики суцільних середовищ; сили й напруження, що діють у них. Предмет, історія розвитку та місце дисципліни ФСС при підготовці фахівців в галузі фізико-технічних проблем енергетики, у тому числі нетрадиційних методів отримання та використання енергії, енергомашинобудування, теплофізики. Структура курсу та особливості його студіювання. Гіпотези суцільності та текучості рідкого середовища, їх застосовуваність. Сили та напруження, що діють у рідині.
Література:	[1] Вступ: §§ 1,2; розділ 3: § 19; [2] Вступ: §§ 1–4; розділ 1: § 1; [3] Вступ; розділ 1: 1.1–1.3; розділ 3: 3.1, 3.2; [4] Вступ; розділ 1: §§ 1,2; [10] Розділ 1: 1.1. <i>Допоміжна література:</i> [6] Розділ 1: § 1–5; [12] Лаб. роб. №1.
Завдання на СРС:	—
1	Основні фізичні властивості, термодинамічні та гідромеханічні моделі рідин і газів. В'язкість; течія Куетта; закон тертя Ньютона. Ньютонівські та неньютонівські рідини; класифікація рідин за Доджем. Стисливість рідин та газів (коефіцієнт об'ємного стиску; модуль об'ємної пружності рідини; швидкість звуку в середовищі та її ізотермічна й ізентропійна моделі; число Маха-Маєєвського). Термодинамічні та гідромеханічні моделі газів і рідин. Ізотерми Ван-дер-Ваальса. Поверхневий натяг. Параметри насичення. Кавітація.
Література:	[1] Розділ 5: §§ 32,33; розділ 10: §§ 84, 85; [2] Вступ: §§ 4,5; розділ 1: § 8; розділ 5: § 6; розділ 6: § 1; [3] Розділ 1: 1.3–1.7; розділ 10: 10.2; розділ 11: 11.1, 11.2 (с. 413, 414); [4] Розділ 8: § 42; [10] Розділ 1: 1.1–1.8. <i>Допоміжна література:</i> [6] Розділ 1: §§ 4, 5; [12] Лаб. Роб. № 1.
Завдання на СРС:	Засвоїти теоретичний матеріал, прослуханий на лекціях. Звернути особливу увагу на поглиблене вивчення кавітації [2–4] та реології ньютонівських рідин

	[1], [8,9].
2	Методи вивчення руху, кінематичні поняття й характеристики руху рідких частинок і потоків. Системи відліку. Підходи Лагранжа й Ейлера, їх взаємозв'язок. Потік рідини та поле швидкостей. Стаціонарний та нестаціонарний рухи. Лінія течії і траєкторія, їх диференціальні рівняння. Гідравлічні елементи потоку. Витрата, її види. Середня швидкість рідини. Рівняння нерозривності в гідравлічній формі. Режими течії рідини; досліди О. Рейнольдса. Місцеві миттєві («актуальні»), місцеві усереднені за часом та пульсаційні швидкості. Прискорення рідкої частинки, локальна та конвективна похідні. Інтегральна та диференціальна форми рівнянь нерозривності за підходом Ейлера. Модель руху рідкої частинки: теорема Коші-Гельмгольца; тензор швидкостей деформацій та його інваріанти. Потенціал швидкості. Класифікація рухів рідини: поступальний, деформаційний, потенціальний, вихровий рухи. Кінематика потенціальних течій. Основні характеристики, теореми та рівняння вихрового руху.
Література:	[1] Розділ 2: §§ 11–17; розділ 3: § 18; [2] Вступ: § 6; розділ 2: §§ 1–9; розділ 3: § 1; [3] Розділ 2: 2.1–2.8; [4] Розділ 3: §§ 7–12; розділ 7: §§ 38–41; [10] Розділ 3: 3.1–3.8; розділ 6: 6.1; розділ 7: 7.1; [14]. <i>Допоміжна література:</i> [6] Розділ 3: §§ 1–8; розділ 8: § 1.
Завдання на СРС:	Звернути особливу увагу на наслідки з теореми Коші-Гельмгольца та тензор швидкостей деформацій [1–4], [10,11]; теорема Томсона (лорда Кельвіна) та її наслідки; теорема Лагранжа. Перша та друга динамічні теореми Гельмгольца про вихори. Застосування теореми Стокса для багатозв'язної області та зміст багатозначності потенціалу при вихрових течіях. Допоміжна література [1–7].
3	Зв'язок між напруженнями в точці (формула Коші). Тензор напружень та його властивість. Основне рівняння динаміки суцільного середовища «в напруженнях». Інтегральна форма закону кількості руху; формула Коші; тензор напружень; основні властивості напружень; теорема про нормальні напруження в точці; девіатор нормальних напружень. Симетрія тензора напружень. Основне рівняння динаміки суцільного середовища «в напруженнях». Елементи гідрогазостатики. • Використання плаката –схеми.
Література:	[1] Розділ 3: §§ 19, 20; розділ 4: §§ 21–23; [2] Розділ 3: §§ 2–4,8,9; [3] Розділ 3: 3.1–3.3; Розділ 5: 5.9–5.10; [4] Розділ 1: §§ 3,4; [10] Розділ 7: 7.2–7.3, [11]: § 15; [13]. <i>Допоміжна література:</i> [1, Ч.2] Розділ 2: §§ 3,4; [2] Розділи 1,2; [3] Розділ 3: §§ 1–5.
Завдання на СРС:	Зміст та аналітичний вираз закону збереження моменту імпульсу рідини [1,2].
4	Рівняння руху ідеальної рідини, початкові та крайові умови, основні інтеграли. Модель ідеальної рідини. Диференціальні рівняння руху ідеальної рідини Л. Ейлера; початкові та крайові умови. Баротропний рух рідини. Рівняння руху в формі Громеки-Лемба. Інтеграл Коші-Лагранжа та Ейлера для потенціального руху. Інтеграл Бернуллі та Громеки для вихрового руху. Рівняння Бернуллі та Ейлера-Бернуллі: фізичний зміст, геометрична інтерпретація, приклади застосування в гідрогазодинамічних дослідженнях і техніці. Динаміка вихорів в ідеальній рідині. Рідкий контур. Теорема Томсона (лорда Кельвіна) та її наслідки; теорема Лагранжа. Перша та друга динамічні

	<p>теореми Гельмгольца про вихори.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів. Показ навчального відеофільму.
Література:	[1] Розділ 5: §§ 29–31; Розділ 7: § 46–48; [2] Розділ 4: §§ 1–6; Розділ 5: § 1; [3] Розділ 5: 5.6-5.9; Розділ 6: 6.12, 6.13; [4] Розділ 4: §§14–18; [10] Розділ 4: 4.1–4.5; [13].
Завдання на СРС:	Самостійно проробити динамічні теореми про вихори та питання силової дії потоків на фасонні частини трубопроводів, перепони, елементи турбомашин, «турбінне» рівняння Л. Ейлера: [2] Розділ 5: §1; [3] Розділ 6: 6.12.
5	<p>Динаміка в'язкої рідини. Узагальнений закон Ньютона. Рівняння руху Нав'є-Стокса; умови однозначності. Елементи теорії гідромеханічної подібності та моделювання течій. Основні критерії подібності. Парадокси моделювання та принцип часткової подібності. Метод розмірностей. Врахування пондеромоторної сили. Енергетичний баланс в'язких одновимірних течій нестисливої рідини. Гідравлічні втрати напорів і тиску.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.
Література:	[1] Розділ 10: §§ 84, 86-88; розділ 11: §101; [2] Розділ 3: §§ 5–7; розділ 10: §§ 1–6; розділ 16: §§ 1–4; [3] Розділ 5: 5.1–5.3; 5.11,5.12; [4] Розділ 8: §§ 42–47; [10] Розділ 7: 7.2–7.6; [11] Розділ 2: §§ 15,19; [12–18]; [23] Розділ 6: 6.1–6.5; Розділ 7: 7.1–7.3. <i>Допоміжна література:</i> [1, Ч.2] Розділ 2: §§ 1–6, 9; [2]; [3] Розділ 3: §§ 1–7; розділ 4: §§ 1–5.
Завдання на СРС:	Самостійно поглиблено вивчити П-теорему, питання практичного застосування теорії подібності та техніки гідромеханічного експерименту [1–7], [11]; допоміжна література: [3–6], [9–13].
6	<p>Ламінарна течія та її характеристики. Турбулентність, її структура та характеристики. Стабілізована ламінарна течія в круглій трубі: парабола Паузейля; коефіцієнт гідравлічного тертя; формули Хагена-Паузейля. Турбулентність, механізми її виникнення, внутрішня структура, каскадна схема. Методи усереднення параметрів турбулентної течії. Ергодична гіпотеза. Статистичні характеристики турбулентності: ступінь турбулентності, кореляційні моменти зв'язку, коефіцієнти кореляції, масштаб турбулентності. Поняття про когерентні вихрові структури.</p>
Література:	[1] Розділ 10: §§ 89,90; розділ 13: §§118–121; розділ 14: § 137; [2] Розділ 3: §§ 5–7; розділ 10: §§ 1–6; розділ 16: §§ 1–4; [3] Розділ 5: 5.1–5.3; 5.11,5.12; [4] Розділ 8: §§ 42–47; Розділ 9: §§ 48-50; [10] Розділ 7: 7.7–7.11; [11] Розділи 2,3; [23] Розділ 8: 8.1–8.11. <i>Допоміжна література:</i> [1, Ч.2] Розділ 2: §§ 1–6, 9; [3] Розділ 3: §§ 1–7; розділ 4: §§ 1–5.
Завдання на СРС:	Засвоїти теоретичний матеріал, прослуханий на лекції. Особливу увагу приділити питанням статистичної теорії турбулентності, вихрових течій біля криволінійних поверхонь та ознайомленню з когерентними вихровими структурами [1], розділ 11: §98; розділ 13: §121; розділ 14: §137; допоміжна література [3], [14,15].
7	<p>Рейнольдсів тензор турбулентних напружень. Напівемпіричні теорії турбулентного переносу для простих типів течій. Диференціальні рівняння О.</p>

	Рейнольдса для турбулентної течії; тензор турбулентних напружень. Проблема «замикання» системи рівнянь турбулентного переносу. Найпростіші моделі турбулентних напружень. Закони розподілу швидкості та опору для труб при турбулентному режимі. Основні концепції сучасного комп'ютерного моделювання в'язких течій.
Література:	[1] Розділ 13: §§ 122–132; розділ 14: §§ 133–140; [2] Розділ 3: §§ 5–7; розділ 10: §§ 1–6; розділ 16: §§ 1–4; [3] Розділ 5: 5.1–5.3; 5.11,5.12; [4] Розділ 8: §§ 42–47; [10] Розділ 7: 7.7–7.11; Розділ 8: 8.1–8.11; [19,20,23]. <i>Допоміжна література:</i> [1, Ч.2] Розділ 2: §§ 1–6,9; [2] Розділ 2: §§ 15,19; [3] Розділ 3: §§ 1–7; розділ 4: §§ 1–5; [13,16].
Завдання на СРС:	Проаналізувати області переважання молекулярних та турбулентних напружень у потоці, недоліки та переваги класичних простих моделей турбулентних напружень [3–8, 13, 16].
8	Поняття примежового шару та відривних течій. Основні характеристики примежового шару (товщина, товщина витіснення, товщина втрати імпульсу, товщина втрати енергії), його види та структура; зона переходу. Математичні моделі: рівняння Л. Прандтля для ламінарного примежового шару (ЛПШ), оцінки порядку його членів та співвідношення, що відображають основні властивості ЛПШ; розв'язки задачі Блазіуса; рівняння турбулентного примежового шару. Умови й запобігання відриву примежового шару, методи управління ним. Відривні кавітаційні течії. • <i>Використання мультимедійних засобів для демонстрації слайдів.</i>
Література:	[1] Розділ 12: §§ 105–116; Розділ 13: §§ 125–130; [2] Розділ 12: §§ 1–8; Розділ 13: §§ 1–5; [3] Розділ 8: 8.11–8.15; Розділ 9: 9.1–9.6; [4] Розділ 11: §§62–77; [10] Розділ 8: 8.1–8.4; [23] Розділ 9: 9.1–9.7. <i>Допоміжна література:</i> [1,Ч.2] Розділ 2: §§ 28–36; [3] Розділи 2, 7–19, 21–25; [4] Розділ 7: §§1–30; [6] Розділ 11: §§1–11.
Завдання на СРС:	Звернути особливу увагу на практичне визначення характеристик примежового шару та сил опору при обтіканні рідиною твердих поверхонь. Самостійно ознайомитись з інтегральними співвідношеннями примежового шару, з методами розрахунку ламінарних і турбулентних примежових шарів [1] Розділ12: § 112–116; Розділ13: §§ 125–132; [2] Розділ12: § 7; Розділ 13: §§ 1–7; [3] Розділ 8: 8.1–8.17; Розділ 9: 9.1–9.6; [4] Розділ 11: §§62–77; допоміжна література: [1–9, 14–16].
9	Рух газу з до- та надзвуковими швидкостями. Рівняння газової динаміки. Ізотермічна та адіабатна течії ідеального газу. Інтеграл Бернуллі для вихрового адіабатного руху ідеального газу. Параметри гальмування. Рівняння ентальпії газу. Аеродинамічний нагрів тіл. Рівняння Бернуллі–Сен-Венана. Максимальна та критична швидкості; зведена швидкість. Ізоентропійне витікання газу з резервуара. Газодинамічне та теплове «замикання» сопла. Формула Гюгонію як обґрунтування загальної форми геометричного сопла (Лаваля). Способи одержання надзвукових швидкостей. Первинні поняття про стрибки ущільнення.
Література:	[1] Розділ 5: §§ 29,30; розділ 6: §§ 35-45; [2] Розділ 6: §§ 1-8; розділ 8: §§ 1–5; [3] Розділ 1: 11.1—11.7; [10] Розділ 9: 9.1–9.8; [23] Розділ 10: §§ 10.1–10.10. <i>Допоміжна література:</i> [1, Ч.1] Розділ 2: §§ 4,5,11; [1, Ч.2] Розділ 1: §§ 1–37; [6] Розділ 4: § 7.

Завдання на СРС:	Ознайомитись із таблицями газодинамічних функцій, принципом побудови сопла Лаваля [6, 7].
------------------	---

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Теми 1.1–2.1. Моделі й властивості суцільних середовищ. Методи вивчення руху, кінематичні поняття й характеристики руху рідких частинок і потоків. Основні фізичні властивості рідин і газів як суцільних середовищ. Витрата, її види. Середня швидкість рідини. Рівняння нерозривності в гідравлічній та диференціальній формах. Режими течії рідини. Епюри швидкостей в ламінарному та турбулентному потоках. Прискорення рідкої частинки, субстанціональна похідна та її складові.
Література:	[1] Розділ 2: §§ 11-13,16; розділ 3: § 18; [2] Вступ: § 6; розділ 2: §§ 1 - 7; розділ 3: § 1; [3] Розділ 2: 2.1 – 2.5; [4] Розділ 3: §§ 7 – 11; [10] Розділ 3: 3.1-3.8; розділ 6: 6.1; розділ 7: 7.1; [14]. <i>Допоміжна література:</i> [6] Розділ 3: §§ 1 – 8; розділ 8: § 1.
Завдання на СРС:	Рідкий контур. Теорема Томсона (лорда Кельвіна) та її наслідки; теорема Лагранжа. Перша та друга динамічні теореми Гельмгольца про вихори. Звернути особливу увагу на зміст формули Біо-Савара, застосування теореми Стокса для багатозв'язної області та зміст багатозначності потенціалу при вихрових течіях.
2	Тема 3.2. Елементи гідрогазостатики. Гідростатичний тиск. Поверхні рівня при відносній рівновазі. Основне рівняння гідростатики. Закон Паскаля. Гідростатичний парадокс Галілея. Визначення сил тиску рідини на плоскі й криволінійні стінки.
Література:	[1] Розділ 4: §§ 25 – 28; [2] Розділ 1: §§ 1 – 7; [3] Розділ 4: 4.1 – 4.4; [4] Розділ 2: §§ 5, 6; [5]; [10] Розділ 2: 2.1-2.5; [11] Розділ 1: § 3,4. <i>Допоміжна література:</i> ; [4] Розділ 1: §§ 9-12; [6] Розділ 2: §§ 1 – 8; [12] Лаб. роб. №№ 2,3.
Завдання на СРС:	Практичне визначення сил тиску рідини на тверді поверхні: [2] Розділ 1: § 6; [3] Розділ 4: 4.4; [4] Розділ 2: §6; додаткова література: [6].
3, 4	Тема 5.1–5.3. Енергетичний баланс в'язких одновимірних течій. Гідравлічні втрати напорі й тиску. Ламінарна течія та її характеристики. Закони розподілу швидкості та опору для труб при турбулентному режимі. Внутрішня задача технічної гідромеханіки в'язкої рідини. Рівняння Д. Бернуллі для потоку в'язкої нестисливої рідини. Коефіцієнт кінетичної енергії Коріоліса. Гідравлічні опори, їх природа. Графік І. Нікурадзе. Розрахунок гідравлічних втрат напорі й тиску на тертя за довжиною каналу та на місцевих опорах. Теорема Борда-Карно та її застосування. Урахування ділянок гідродинамічної стабілізації (“початкових ділянок”) ламінарного та турбулентного потоків в трубах. Принцип суперпозиції втрат напорі. Поняття про інтерференцію місцевих опорів.
Література:	[2] Розділ 5: §§ 1–7; розділ 14: §§ 1–6; [3] Розділ 6: 6.1–6.5; 6.8–6.11; 6.13-6.18; [4] Розділ 10: §§ 51–61; [10] Розділ 5: 5.1-5.4. <i>Допоміжна література:</i> [6] Розділ 10: §§ 1–7; [12] Лаб. роб. №№ 2,3.
Завдання на	Самостійно проробити питання витікання рідини через отвори і насадки (<i>теми</i>

СРС:	5.1–5.3), а також прямого гідравлічного удару (<i>тема 4.1</i>) [2], [3], [4]; допоміжна література: [6].
5, 6	Тема 5.4. Основні концепції сучасного комп'ютерного моделювання в'язких течій. Основні методи й моделі моделювання турбулентних течій: моделі RANS, Колмогорова–Прандтля, Спаларта-Аллмараса, (к-ε)-модель та її модифікації, двошарова модель Ментера та ін.
Література:	[1] Розділ 10: §§ 84, 86-88; розділ 11: §101; [2] Розділ 3: §§ 5-7; розділ 10: §§ 1-6; розділ 16: §§ 1-4; [3] Розділ 5: 5.1 – 5.3; 5.11,5.12; [4] Розділ 8: §§ 42-47; [10] Розділ 7: 7.2-7.6; [11] Розділ 2: §§ 15,19; [12–18]; [23] Розділ 6: 6.1-6.5; Розділ 7: 7.1-7.3; [1] Розділ 14: §§ 133-140; [19,20]. <i>Допоміжна література:</i> [1, Ч.2] Розділ 2: §§ 1-6, 9; [2]; [3] Розділ 3: §§ 1-7; розділ 4: §§1-5; [16].
Завдання на СРС:	Практичне застосування простіших класичних моделей турбулентності в розрахунках течій; додаткова література [1-9]. Можливості щодо практичного застосування існуючих методів моделювання турбулентних течій.
Модульна контрольна робота по матеріалах пророблених тем 1.1 — 5.3.	
7	Теми 6.1–6.2. Основні характеристики та рівняння примежового шару. Основні характеристики примежового шару (товщина, товщина витіснення, товщина втрати імпульсу, товщина втрати енергії, обчислення числа Рейнольдса). Рівняння Л. Прандтля для ламінарного примежового шару. Співвідношення, що відображають основні властивості ЛПШ; застосування співвідношень задачі Блазіуса. Інтегральне співвідношення Кармана. Практичне визначення сил опору при обтіканні рідиною твердих поверхонь.
Література:	[1] Розділ 12: §§ 105-116; Розділ 13: §§ 125-130; [2] Розділ 12: §§ 1-8; Розділ 13: §§ 1-5; [3] Розділ 8: 8.11- 8.15; Розділ 9: 9.1-9.6; [4] Розділ 11: §§62-77; [10] Розділ 8: 8.1–8.4; [23] Розділ 9: 9.1–9.7. <i>Допоміжна література:</i> [1,Ч.2] Розділ 2: §§ 28-36; [3] Розділи 2, 7-19, 21-25; [4] Розділ 7: §§1-30; [6] Розділ 11: §§1-11.
Завдання на СРС:	Самостійно ознайомитись з інтегральними співвідношеннями примежового шару, з методами розрахунку ламінарних і турбулентних примежових шарів [1] Розділ12: § 112-116; Розділ13: §§ 125-132; [2] Розділ12: § 7; Розділ 13: §§ 1-7; [3] Розділ 8: 8.1-8.17; Розділ 9: 9.1-9.6; [4] Розділ 11: §§62-77; допоміжна література: [1–9, 14-16].
8	Теми 7.1–7.2. Вихідні рівняння та газодинамічні співвідношення. Способи одержання надзвукових швидкостей. Рівняння газової динаміки. Ізотермічна та адіабатна течії ідеального газу. Інтеграл Бернуллі для вихрового адіабатного руху ідеального газу. Параметри гальмування. Застосування рівняння ентальпії газу. Максимальна та критична швидкості; зведена швидкість. Ізоентропійне витікання газу з резервуара. Газодинамічне та теплове «замикання» сопла. Формула Гюгонію як обґрунтування загальної форми геометричного сопла (Лавалю). Способи одержання надзвукових швидкостей.
Література:	[1] Розділ 5: §§ 29,30; розділ 6: §§ 35-45; [2] Розділ 6: §§ 1-8; розділ 8: §§ 1-5; розділ 15: §§1-13; [3] Розділ 1: 11.1-11.7; [10] Розділ 9: 9.1-9.8; [23] Розділ 10: §§ 10.1-10.10; розділ 11: §§11.1-11.4.

	Допоміжна література: [1, Ч.1] Розділ 2: §§ 4,5,11; [1, Ч.2] Розділ 1: §§ 1-37; [6] Розділ 4: § 7; розділ 14: §§1-7.
Завдання на СРС:	Ознайомитись із таблицями газодинамічних функцій та методом побудови сопла Лаваля [6, 7].
9	Залік

13. 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Метою самостійної роботи є засвоєння наданих на лекціях теоретичних матеріалів. Самостійна робота студентів 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. Дати характеристику ньютонівських та неньютонівських рідин, класифікацію рідин за Доджем (розділ 1, тема 1.2).

Варіант 2. Вивести рівняння нерозривності у змінних Лагранжа та Ейлера в інтегральній та диференціальній формах (розділ 2, тема 2.1).

Варіант 3. Довести кінематичні або динамічні теореми про вихори в рідині (розділ 2, теми 2.1, 2.2; розділ 5, теми 5.1, 5.2).

Варіант 4. Одна з задач на визначення сил і моментів, що діють на тверді поверхні (люки, кришки, днища, стінки резервуарів, елементи арматури гідросистем) в нерухомій рідині (вибірково) (розділ 3, тема 3.2).

Варіант 5. Вивести диференціальні рівняння руху нев'язкої рідини; навести початкові та крайові умови. Пояснити можливості застосування при математичному моделюванні течії рідин і газів. (розділ 4, тема 4.1).

Варіант 6. Отримати та проаналізувати один з 4-х інтегралів рівнянь руху нев'язкої рідини (розділ 4, тема 4.1).

Варіант 7. Розв'язання задачі на визначення силової дії одновимірного потоку нев'язкої нестисливої рідини на фасонні частини трубопроводів, перепони, елементи турбін (розділ 4, тема 4.1).

Варіант 8. Отримати “турбінне рівняння” Л.Ейлера динамічних турбомашин. Дати повний аналіз його, межі практичного застосування (розділ 4, тема 4.1).

Варіант 9. Описати методи експериментального визначення гідравлічних втрат напору в трубопроводах (на тертя по довжині або місцевих — **вибірково**) (розділ 5, тема 5.1).

Варіант 10. Дати розрахункове визначення гідравлічних втрат напору в простих трубопроводах (вибірково) (розділ 5, теми 5.1–5.3).

Варіант 11. Розв'язання задач на стаціонарне витікання нестисливої рідини через отвори або насадки — з характеристикою безвідривного та відривного режимів (вибірково) (розділ 5, теми 5.1).

Варіант 12. Розв'язання задач на нестаціонарне витікання нестисливої рідини з ємкостей різноманітної форми (розділ 5, тема 5.1).

Варіант 13. Розв'язання задач на стаціонарну течію стисливого газу за ізотермічних та адіабатних умов (розділ 7, тема 7.1).

6.2. Комплексне завдання для певних підгруп

1) Розрахунок гідравлічної системи енергетичної установки (розділи 1, 2; розділ 4, тема 4.1; розділ 6, теми 6.1, 6.2, 6.3; розділ 8, теми 8.1., 8.2). Включає: а) визначення сил і моментів, що діють на плоскі й криволінійні поверхні кришок, люків, внутрішніх стінок резервуарів, що знаходяться під дією надлишкового тиску; б) визначення сумарних втрат напору і тиску в проточному тракті гідравлічної системи, що включає різні види арматури та інших елементів місцевих опорів, з урахуванням неізотермічності течії в окремих ділянках трубопроводу; в) аналіз небезпеки виникнення гідравлічного удару в системі.

2) На вході до сопла Лавалю повітря має температуру T_1 , тиск p_1 та швидкість v_1 . Тиск зовнішнього середовища $p_{зовн.}$. Масова витрата повітря через сопло дорівнює Q_m . Завдання:

а) знайти параметри та швидкості повітря в мінімальному та вихідному перерізах сопла, а також діаметри мінімального, вихідного та вхідного перерізів сопла;

б) зробити креслення сопла Лавалю в масштабі, знайти залежності швидкості течії та місцевої швидкості звуку від координати x та надати криві $v=f(x)$ та $a=f_1(x)$ під соплом.

Необхідні дані див. в Табл. 1.

Таблиця 1.

№ задачі	Назва параметра	Номери варіантів задач									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	T_1, K	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800
	p_1, MPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$v_1, м/с$	300	330	360	400	420	450	470	500	530	560
	$p_{зовн.}, MPa$	0,04	0,045	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,085
	$Q_m, кг/с$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
17	$d_1, см$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	$d_{min}, см$	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
	$d_2, см$	4,2	5	5,6	6,3	7	7,7	8,4	9,1	9,8	10,5
	$Q_m, кг/с$	10	12	15	18	20	22	24	26	28	30
	T_1, K	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500

6.3. Приклади щодо експрес-тестів

1. Визначити дотичне напруження у точці, що належить шару турбінного масла,

кінематична в'язкість якого дорівнює $\nu = 0,3 \text{ Ст}$, густина $\rho = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, поперечний

градієнт повздожньої швидкості $\frac{dv}{dy} = 2 \frac{1}{\text{с}}$.

2. Знайти відносну зміну об'єму води (за модулем) при збільшенні тиску на 1 бар. Об'ємний модуль пружності води прийняти $E=2060 \text{ МПа}$.

3. Визначити швидкість звуку у повітрі відповідно до ізоентропійної моделі Лапласа-

Пуассона при температурі $t = 25^\circ \text{C}$, прийнявши газову сталу $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, показник адиабати $k=1,4$.

4. При яких швидкостях руху повітря з точністю до 2 % можна нехтувати зміною його

густини? Швидкість звуку у повітрі прийняти $a = 340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

5. Визначити додатковий тиск, зумовлений силами поверхневого натягу на сферичній поверхні кульки води радіуса $r = 5$ мм. Коефіцієнт поверхневого натягу води на межі

розділення з повітрям прийняти
$$\sigma = 0,073 \frac{H}{m}.$$

6. Знайти середню швидкість перегрітої пари у циліндричному трубопроводі внутрішнім

діаметром $d = 0,2$ м при об'ємній витраті пари
$$Q = 1696 \frac{m^3}{ч}.$$

7. Повітря при $t = 20^{\circ} C$ рухається із середньою швидкістю $v_c = 10 \frac{m}{с}$ у трубі прямокутної форми перерізу (розміри сторін прямокутника $a = 0,15$ м; $b = 0,2$ м). Кінематична в'язкість повітря $\nu = 0,15$ Ст. Визначити число Рейнольдса Re за значенням гідравлічного (еквівалентного) діаметру.

8. Знайти максимальне локальне значення швидкості у точці будь-якого поперечного перерізу циліндричного трубопроводу внутрішнім діаметром $d = 25$ мм при стабілізованому

стаціонарному русі дизельного пального. Масова витрата пального $Q_m = 0,8 \frac{кг}{с},$

густина $\rho = 846 \frac{кг}{m^3},$ кінематична в'язкість $\nu = 0,28 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{с}.$

9. Визначити діапазон можливих значень середньої за перерізом швидкості води в циліндричній трубі, якщо при стабілізованому стаціонарному русі води усереднена за

часом швидкість на осі труби дорівнює $2 \frac{m}{с}.$

10. На скільки відсотків збільшиться середня швидкість повітря в трубі постійного поперечного перерізу, якщо в результаті підведення теплоти густина повітря

зменшилась на 20% порівняно з початковим значенням $\rho_1 = 1,25 \frac{кг}{m^3}.$

11. Визначити силу надлишкового тиску нафти на люк діаметром $d = 1$ м, що розташований на плоскій вертикальній стінці резервуару. Резервуар знаходиться у атмосферному повітрі. Геометричний центр люка занурений на глибину $h = 6$ м під вільною поверхнею

нафти, манометричний тиск над якою дорівнює $p_m = 0,5 \frac{кгс}{см^2}.$ Густина нафти

$\rho = 890 \frac{кг}{m^3}.$

12. Визначити максимальну висоту підняття краплинної рідини відносно найнижчої точки вільної поверхні у круглоциліндричній посудині, що обертається навколо її вертикальної

осі разом із рідиною з постійною частотою $n = 160 \frac{об}{хв}.$ Діаметр посудини дорівнює $d = 100$ мм.

13. Визначити приріст тиску води у дозвуковому дифузори при збільшенні діаметру у 2 рази, якщо середня швидкість на вході $v_1 = 2,8 \frac{м}{с}$. Густина води $\rho = 1000 \frac{кг}{м^3}$. Втратами енергії при русі води знехтувати.
14. Яку підіймальну силу щодо одиниці висоти поодинокі компресорної лопатки треба долати при роботі осьового компресора, якщо густина повітря $\rho = 1,8 \frac{кг}{м^3}$, швидкість потенціального потоку, що набігає на лопатку $v_\infty = 20 \frac{м}{с}$, циркуляція навколо лопатки $\Gamma = 1,111 \frac{м^2}{с}$. Обмеженістю обтікання лопатки та зривами потоку знехтувати.
15. Місцева швидкість течії в трубопроводі системи інжекції теплоносія для відведення залишкового тепловиділення реактора дорівнює 2 м/с, градієнт температури вздовж руху рідини складає $5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{м}$. Повна зміна температури у часі дорівнює $11 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$. Якою буде локальна зміна температури рідини у часі?
16. Визначити наближено втрати напору потоку при раптовому розширенні трубопроводу, коли середні швидкості дорівнюють: на вході в ділянку $v_1 = 2 \frac{м}{с}$, на виході $v_2 = 0,5 \frac{м}{с}$.
17. При аварійній зупинці реактора місцеві швидкості течії рідини у вхідній зоні басейну пригнічення надмірного тиску становлять 2 м/с у поздовжньому напрямку x та 1 м/с у поперечному напрямку y , градієнти температури рідини у вищезгаданих напрямках руху складають відповідно $5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{м}$ та $3 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{м}$. Відомо, що повна зміна температури у часі дорівнює $15 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$. Якою є локальна зміна температури у часі при русі рідини за таких умов?
18. Критерій Ейлера для течії води у тепловиділяючому елементі (ТВЕЛ) ядерного реактора при середній швидкості води на вході $u_c = 1,5 \text{ м/с}$ дорівнює $Eu = 402$ при густині води $\rho = 995 \text{ кг/м}^3$. Якому перепаду тиску на ТВЕЛі це відповідає?
19. Визначити швидкість звуку в повітрі згідно з ізотермічною моделлю Ньютона при температурі $t = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$, прийнявши газову сталу $R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

14. Політика та контроль

15. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом/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 несамостійному 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.

16. 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 ФСС:

- 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 ФСС 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 блиц-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 студента 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 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.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу і враховує суму поточні 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

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.

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>).

17. 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Приклад білета до заліку

1. Отримати та проаналізувати рівняння руху нев'язкої рідини у формі Громеки–Лемба.
2. У якому співвідношенні мають бути кінематичні коефіцієнти в'язкості потоків рідин моделі та натурального об'єкта у випадку, коли для обох потоків числа Re і Fr є відповідно однаковими, але модель виконано у масштабі довжини m_ℓ ? Дані m_ℓ для розв'язання задачі — у відповідності до одного з варіантів завдання з наведеної таблиці:

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m_ℓ	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	1:10	1:12

Робочу програму навчальної дисципліни ФСС (силабус):

складено професором кафедри ПГМ, канд. технічних наук, доцентом Туриком Володимиром Миколайовичем

Ухвалено кафедрою прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки (протокол № 4 від 05.09.2020)

Затверджено Вченою радою ФТІ (протокол № 7/1 від 07.09.2020)