Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

МЕХАНІКА РІДИНИ І ГАЗУ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	***Перший (бакалаврський)***
Галузь знань	*G Механічна інженерія*
Спеціальність	*G9 Прикладна механіка*
Освітня програма	*Автоматизовані та роботизовані механічні системи НН ММІ;* *Динаміка і міцність машин НН ММІ;* *Конструювання та дизайн машин НН ММІ;* *Технології виробництва літальних апаратів НН ММІ;* *Технології машинобудування НН ММІ.*
Статус дисципліни	*Нормативна*
Форма навчання	*Очна (денна) /змішана*
Рік підготовки, семестр	*2 курс, викладається в одному семестрі (весняний)*
Обсяг дисципліни	*3,5 кредити ЄКТС, 120 год., лекцій 30 год., практичні 14 год., лабораторні 16 год., СРС 55 год.*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*Залік, МКР, ІСЗ.*
Розклад занять	*http://rozklad.kpi.ua/Schedules*
Мова викладання	*Українська /Англійська*
Інформація про ккерівника курсу / викладачів	*Лектори:* *канд. техн.. наук, доцент, ТУРИК Володимир Миколайович* *Turick46@gmail.com* *канд. техн.. наук, доцент, СЕМІНСЬКА Наталія Валеріївна* *o.seminskyi@kpi.ua* *канд. техн.. наук, доцент, КОВАЛЬ Олексій Дмитрович* *koval.oleksij@lll.kpi.ua*
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни ***«Механіка рідини і газу»*** *складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра з галузі знань G «Механічна інженерія» за спеціальністю G9 «Прикладна механіка».*

Механіка рідини і газу *– це розділ фізики, загальним змістом якого є вивчення законів рівноваги та руху суцільних середовищ — рідин і газів у полях масових сил з урахуванням гідромеханічних, термодинамічних і електромагнітних ефектів. В «Механіці рідини і газу»* ***(МРГ)*** *теоретичне і експериментальне вивчення руху реальних середовищ і фізичних явищ у більшості випадків базуються на моделі матеріального континуума. Малі рухомі індивідуальні або субстанціальні (тобто які складаються з однієї і тої самої речовини) об'єми (частинки) середовища розглядаються як механічні і термодинамічні системи, стан яких характеризується скінченною кількістю визначальних параметрів. Оволодіння основними положеннями МРГ є необхідною передумовою професійної діяльності фахівців в галузі прикладної механіки.*

Мета викладання дисципліни «Механіка рідини і газу» *— формування у студентів здатності: ставити, аналізувати та розв'язувати задачі визначення просторово-часових полів параметрів рідин і газів, що перебувають у станах рівноваги або руху при заданих початкових і межових умовах; здійснювати аналітичне, чисельне або експериментальне дослідження цих параметрів при розрахунках і проектуванні раціональних конструкцій об'єктів нової техніки. Це дає можливість проводити розрахунки і аналізувати раціональні конструкції трубопроводів, вузлів роботизованих комплексів на базі гідро- і пневмоприводу, гідро- і пневмоавтоматики, гідро- і пневмогазових систем автоматичного керування рулями, елеронами та іншими пристроями літальних апаратів, авіаційних і ракетних двигунів, елементів керування примежовими шарами на крилах літальних апаратів, проточних трактів лопатевих апаратів компресорних машин і турбін та інших об'єктів нової техніки.*

Предмет навчальної дисципліни*: фізичні моделі та властивості рідин і газів; кінематика рідин і газів; напружений стан рідини та фундаментальні закони гідроаеромеханіки; гідрогазостатика; динаміка ідеальної рідини; елементи динаміки одновимірних потоків в'язкої нестисливої рідини; динаміка в'язкої рідини (просторові течії); теорії подібності й моделювання гідроаеродинамічних процесів; динаміка ламінарних і турбулентних течій; елементи теорії гідравлічного удару в трубах; поняття примежового шару та відривних течій, елементи теорії крилових профілів; елементи газової динаміки: термодинамічні та газодинамічні аспекти течії газів з до- та надзвуковими швидкостями, аеродинамічний нагрів обтічних тіл; способи отримання надзвукових швидкостей газу; теплове та газодинамічне замикання сопла; стрибки ущільнення, ударна адіабата.*

У результаті вивчення дисципліни студент набуде наступних компетентностей:

У результаті вивчення дисципліни студент набуде наступних компетентностей:

Загальні компетентності

ЗК 02*. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.*

Фахові компетентності

ФК 01. Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки.

ФК10. Здатність описувати та класифікувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні основних механічних теорій та практик, а також базових знаннях суміжних наук.

Завершитись навчання повинно наступними програмними результатами:

ПРН 02. Використовувати знання теоретичних основ механіки рідин і газів, теплотехніки та електротехніки для вирішення професійних завдань.

ПРН 09. Знати та розуміти суміжні галузі (механіку рідин і газів, теплотехніку, електротехніку, електроніку) і вміти виявляти міждисциплінарні зв'язки прикладної механіки на рівні, необхідному для виконання інших вимог освітньої програми.

Знання. *Знати фундаментальні закони рівноваги, а також до-, навколо- та надзвукового руху рідин і газів, їх взаємодії з обтічними поверхнями і тілами, що знаходяться у стані спокою або руху.*

Уміння. *Уміти самостійно формулювати, аналізувати та розв'язувати задачі механіки рідин і газів при проектуванні обтічних елементів технологічних пристроїв, а також енергетичних, і транспортних машин та апаратів.*

Досвід. *Застосовувати прийоми та методи гідроаеромеханіки щодо аналізу роботи, оптимізації та надійності конструкцій при їх взаємодії з рідиною або газом за умов, характерних для машинобудування, авіації, ракетобудування, суднобудування, енергетики тощо.*

2. Пререквізити та постреквізити дисциплін

Дисципліна МРГ передбачає попереднє засвоєння матеріалу дисциплін «Вища математика», «Лінійна алгебра і аналітична геометрія», «Загальна фізика». Курс МРГ забезпечує теоретичну та практичну підготовку для вивчення дисциплін «Деталі машин і основи конструювання», «Деталі машин і основи конструювання. Курсовий проект», «Дипломне проектування», а також ряду дисциплін циклу професійної підготовки відповідно до освітніх програм.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ до курсу «Механіка рідини і газу». Фізичні моделі та властивості рідин і газів.
Тема 1.1. *Предмет, методи й гіпотези МРГ. Сили й напруження, що діють в рідині.*
Тема 1.2. *Основні фізичні властивості, термодинамічні та гідромеханічні моделі рідин і газів.*

Розділ 2. Кінематика суцільних середовищ.
Тема 2.1. *Методи вивчення руху, кінематичні поняття й характеристики руху рідких частинок і потоків.*
Тема 2.2. *Модель руху рідкої частинки.*
Тема 2.3. *Кінематика вихрових течій.*

Розділ 3. Напружений стан рідин і газів та фундаментальні закони «Механіка рідини і газу».
Тема 3.1. *Зв'язок між напруженнями в точці (формула Коші). Тензор напружень та його властивість.*
Тема 3.2. *Закони збереження імпульсу, моменту імпульсу та енергії.*
Розділ 4. Гідрогазостатика.
Тема 4.1. *Гідростатика.*
Тема 4.2. *Основи газостатики.*

Розділ 5. Динаміка ідеальної рідини.
Тема 5.1. *Рівняння руху ідеальної рідини, початкові й крайові умови, основні інтеграли.*
Тема 5.2. *Динаміка вихорів в ідеальній рідині.*

Розділ 6. Динаміка одновимірних потоків в'язкої нестисливої рідини.
Тема 6.1. *Енергетичний баланс одновимірних течій. Гідравлічні опори, втрати напору й тиску.*
Тема 6.2. *Витікання нестисливої рідини через отвори та насадки.*
Тема 6.3. *Елементи теорії гідравлічного удару.*

Розділ 7. Динаміка в'язкої рідини (просторові течії).
Тема 7.1. *Узагальнена гіпотеза Ньютона. Диференціальні рівняння руху Нав'є-Стокса. Елементи теорії гідромеханічної подібності й моделювання нестисливої та стисливої течій.*
Тема 7.2. *Ламінарна течія та її характеристики. Турбулентність, її структура та характеристики.*
Тема 7.3. *Тензор турбулентних напружень Рейнольдса. Напівемпіричні теорії турбулентного переносу для простих типів течії. Закони розподілу швидкості та опору для труб.*
Тема 7.4. *Основні концепції сучасного комп'ютерного моделювання в'язких течій.*

Розділ 8. Поняття примежового шару та відривних течій.
Тема 8.1. *Гідродинамічний примежовий шар, його основні характеристики та види.*
Тема 8.2. *Рівняння Прандтля ламінарного примежового шару. Задача Блазіуса.*
Тема 8.3. *Турбулентний примежовий шар. Відрив примежового шару. Відривні кавітаційні течії.*

Розділ 9. Рух газу з до- та надзвуковими швидкостями.
Тема 9.1. *Вихідні рівняння та газодинамічні співвідношення.*
Тема 9.2. *Ізоентропійне витікання газу з резервуара. Способи одержання надзвукових швидкостей.*
Тема 9.3. *Поширення малих та скінченних збурень в однорідному потоці газу. Прямий та косий стрибки ущільнення. Ударна адіабата Ренкіна-Гюгоніо.*

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література (підручники, навчальні посібники)

1. *Гідрогазодинаміка. Курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальностями 142 Енергетичне машинобудування, 143 Атомна енергетика, 144 Теплоенергетика / В. М. Турик; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,91 Мбайт). – Київ :КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 145 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41225*
2. *Турик В. М. Гідрогазодинаміка. Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 142 Енергетичне машинобудування, 143 Атомна енергетика, 144 Теплоенергетика / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 2,0 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 38 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41226*
3. *Турик В. М. Основи газодинаміки [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Автоматизовані та роботизовано механічні системи» спеціальності 131 Прикладна механіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 1,82 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 139 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48479*
4. *Коваль, О. Д. Прикладні питання механіки рідини і газу [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. Д. Коваль, О. М. Яхно; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 1,50 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/1503*

Додаткова література

5. *Скочеляс Б. А., Турик В. М. Прикладна гідромеханіка (Гідростатика): Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності «Гідравлічні і пневматичні машини» всіх форм навчання. Київ.: Нац. техн. ун-т України "КПІ", 2009. 25 с. (Надано гриф «Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ» від 24 грудня 2009 р., прот. № 4. Свідоцтво про надання грифа електронному засобу навчального призначення НМУ № Е9/10-106).*
6. *Скочеляс Б. А., Турик В. М. Прикладна гідромеханіка (Гідродинаміка**):** Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності «Гідравлічні і пневматичні машини» всіх форм навчання. Київ.: Нац. техн. ун-т України "КПІ", 2010. 26 с. (Надано гриф «Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ» від 15 квітня 2010 р., прот. № 8. Свідоцтво про надання грифа електронному засобу навчального призначення НМУ № Е9/10-266).*
7. *Скочеляс Б. А., Турик В. М., Ящук П. П. Прикладна гідромеханіка. Гідроаеромеханіка: Елементи кінематики і динаміки рідини: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальностей «Гідравлічні і пневматичні машини», «Динаміка і міцність машин» всіх форм навчання. Київ.: Нац. техн. ун-т України. "КПІ", 2011. 34 с. (Надано гриф «Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ» від 16 червня 2011 р., прот. № 10. Свідоцтво про надання грифа електронному засобу навчального призначення НМУ № Е 10/11-530).*
8. *Путята В.Й., Сідляр М.М. Гідроаеромеханіка: підручник. Київ: Видавництво Київського університету, 1963. 480 с.*
9. *Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. 840 с.*
10. *Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 712 с.*
11. *Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976. 888 с.*
12. *Аэрогидромеханика / А.М. Мхитарян, В.В. Ушаков, А.Г. Баскакова, В.Д. Трубенок; Под общ. ред. А.М. Мхитаряна. М.: Машиностроение, 1984. 352 с.*
13. *Методические указания к лабораторным работам по гидромеханике и газовой динамике для студентов машиностроительных, энергетических и приборостроительных специальностей / Сост. О. М. Яхно, В. Н. Турик, В. З. Аверин и др. Киев: КПИ, 1989. 32 с.*

14. *Liepman H.W., Roshko A. Elements of gasdynamics. Mineola, New York: Dover Publications, inc., 2002. 464 p.*
15. *Zucker R.D., Biblarz O. Fundamentals of gas dynamics, 2nd ed. Monterey, California: John Wiley@Sons, inc., 2002. 493 p.*
16. *Powers J.M. Lecture notes on gas dynamics. Notre Dame, Indiana, USA: University of Notre Dame. 2019. 166 p.*
19. *Приходько А. А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене. Киев: Наукова думка, 2003. 380 с.*

Рекомендації та роз'яснення

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

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

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

ЛЕКЦІЙНІ ЗАНЯТТЯ

№ з/п	*Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)*
1	**Предмет, методи й гіпотези «Механіка рідини і газу». Сили й напруження, що діють в рідині.** Предмет, історія розвитку та місце дисципліни МРГ при підготовці фахівців з прикладної механіки, машинобудування, автоматизованих та роботизованих механічних систем тощо. Структура курсу та особливості його студіювання. Гіпотези суцільності та текучості рідкого середовища, їх застосовуваність. Сили та напруження, що діють у рідині.
2	**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 ізоентропійна моделі; число Маха-Маієвського). Термодинамічні та гідромеханічні моделі газів і рідин. Ізотерми Ван-дер-Ваальса. Поверхневий натяг. Параметри насичення. Кавітація.
Завдання на СРС:	Звернути увагу на з'ясування явища кавітації та питань реології неньютонівських рідин.

3	**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. Субстанціональна, локальна та конвективна похідні. Інтегральна та диференціальна форми рівнянь нерозривності за підходом Ейлера.
Завдання на СРС:	Чи можна розігнати потік газу в каналі постійного перерізу? Обґрунтувати поняття «теплового замикання» каналу.
4	**Модель руху рідкої частинки**: теорема Коші-Гельмгольца; тензор швидкостей деформацій та його інваріанти. Потенціал швидкості. Класифікація рухів рідини: поступальний, деформаційний, потенціальний, вихровий рухи. Поняття про кінематику потенціальних течій.
Завдання на СРС:	Звернути особливу увагу на зміст на наслідки теореми Коші-Гельмгольца; пояснити сенс тензора швидкостей деформацій. Потенціал швидкості, функція течії, комплексний потенціал (характеристична функція течії). Основна властивість гармонічних функцій.
5	**Кінематика вихрових течій.** Основні елементи та характеристики вихрового руху: вихрова лінія та її диференціальні рівняння; вихрові трубка, шнур, вихрова нитка, їх напруження та інтенсивність; потік вихорів. Циркуляція швидкості. Багатозначний потенціал. Зв'язність області. Теорема Стокса щодо одно- та багатозв'язної областей. Багатозначність потенціалу при наявності вихорів. Інтегральна та диференціальна форми рівняння нерозривності для поля вектора вихору. Друга кінематична теорема Гельмгольца про вихори та її наслідки. Поняття про "вільні вихорі", смерчі, вири та вихрові кільця. Поле швидкостей, що викликане вихорами.
Завдання на СРС:	З'ясувати зміст та наслідки формули Біо-Савара.
6	**Зв'язок між напруженнями в точці (формула Коші). Тензор напружень та його властивість. Закони збереження імпульсу, моменту імпульсу та енергії.** Інтегральна форма закону кількості руху; формула Коші; тензор напружень; основні властивості напружень; теорема про нормальні напруження в точці; девіатор нормальних напружень. Основне рівняння динаміки суцільного середовища «в напруженнях». Закон збереження моменту імпульсу. Доведення симетрії тензора напружень. Рівняння енергії і переносу теплоти.
Завдання на СРС:	Зміст та аналітичний вираз закону збереження моменту імпульсу рідини.
7	**Гідростатика. Основи газостатики.** Напруження при рівновазі рідини. Гідростатичний тиск. Диференціальні рівняння рівноваги Л. Ейлера та умови їх інтегрування. Потенціал масових сил. Поверхні рівня та їх диференціальне рівняння. Основне рівняння гідростатики. Гідростатичний парадокс Галілея. Стійкість рівноваги нестисливої рідини. Абсолютна та відносна рівновага рідини. Рівновага газу. Інтегрування рівняння рівноваги Л. Ейлера для газу. Формули Галлея та Б'єркнеса. Будова земної атмосфери. Умови механічної та теплової стійкості рівноваги газу.
Завдання на СРС:	Вивчити самостійно розділ «Сили гідростатичного тиску на елементи резервуарів».
8	**Рівняння руху ідеальної рідини, початкові та крайові умови, основні інтеграли**. **Динаміка вихорів в ідеальній рідині.** Модель ідеальної рідини. Диференціальні рівняння руху ідеальної рідини Л. Ейлера; початкові та крайові

	умови. Баротропний рух рідини. Рівняння руху в формі Громеки-Лемба. Інтеграли Коші-Лагранжа та Ейлера для потенціального руху. Інтеграли Бернуллі та Громеки для вихрового руху.
9	**Рівняння Бернуллі та Ейлера-Бернуллі**: фізичний зміст, геометрична інтерпретація, приклади застосування в гідродинамічних дослідженнях і техніці. Динаміка вихорів в ідеальній рідині. Рідкий контур. Теорема Томсона (лорда Кельвіна) та її наслідки; теорема Лагранжа. Перша та друга динамічні теореми Гельмгольца про вихори. **Модульна контрольна робота**.
Завдання на СРС:	Самостійно проробити питання силової дії потоків на фасонні частини трубопроводів, перепони, елементи турбомашин, «турбінне» рівняння Л. Ейлера.
10	**Динаміка одновимірних течій в'язких нестисливих рідин.** Рівняння Д. Бернуллі для елементарного струменя та для потоку в'язкої нестисливої рідини. Коефіцієнт кінетичної енергії Коріоліса. Гідравлічні опори, їх природа. Коефіцієнт кількості руху (потоку імпульсу) Буссінеска. Втрати напору на тертя за довжиною каналу; графік Нікурадзе; місцеві втрати напору. Теорема Борда-Карно та її застосування. Ділянки гідродинамічної стабілізації ("початкові ділянки") ламінарного та турбулентного потоків в трубах. Принцип суперпозиції втрат напору. Поняття про інтерференцію місцевих опорів.
Завдання на СРС:	Самостійно вивчити такі теми для застосування на практичних заняттях: Витікання нестисливої рідини через отвори та насадки; Елементи теорії гідравлічного удару.
11	**Динаміка в'язкої рідини (просторові течії).** Узагальнена гіпотеза Ньютона. Рівняння руху Нав'є-Стокса для стисливої та нестисливої рідини; умови однозначності. Елементи теорії гідромеханічної подібності та моделювання нестисливих і стисливих течій. Основні критерії гідродинамічної подібності. Парадокси моделювання та принцип часткової подібності. Метод розмірностей. Врахування пондеромоторної сили.
Завдання на СРС:	Самостійно вивчити метод розмірностей, П-теорему, питання практичного застосування теорії подібності та техніки гідромеханічного.
12	**Ламінарна течія та її характеристики. Турбулентність та її структура.** Стабілізована ламінарна течія в круглій трубі: парабола Паузейля; коефіцієнт гідравлічного тертя при ламінарному русі рідини в круглій трубі; формули Хагена-Пуазейля. Турбулентність, механізми її виникнення, внутрішня структура, каскадна схема передачі енергії.
Завдання на СРС:	Особливу увагу приділити окремим питанням статистичної теорії турбулентності, вихрових течій за умов в'язкої відцентрової нестійкості біля криволінійних поверхонь.
13	**Характеристики турбулентності. Тензор турбулентних напружень Рейнольдса. Напівемпіричні теорії турбулентного переносу для простих типів течії.** 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. Диференціальні рівняння О. 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 комп'ютерного моделювання в'язких течій.
Завдання на СРС:	Проаналізувати області переважання молекулярних та турбулентних напружень у потоці, недоліки та переваги класичних простих моделей турбулентних напружень. Охарактеризувати основні методи сучасного моделювання турбулентних течій.

14	**Поняття примежового шару та відривних течій.** Основні характеристики гідродинамічного 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. **Турбулентний примежовий шар. Відрив примежового шару. Відривні кавітаційні течії.** Рівняння турбулентного примежового шару. Умови відриву примежового шару. Запобігання відриву та методи керування ним. Поняття про відривні кавітаційні течії: число кавітації, схеми Кірхгофа, Рябушинського, Жуковського-Рошко, Тулина.
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.
15	**Рух газу з до- та надзвуковими швидкостями.** Вихідні рівняння газової динаміки. Загальний інтеграл рівнянь Ейлера для одновимірного баротропного руху газу та частинні випадки: ізохорна, 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 теоретична та критична швидкості; зведена швидкість. Газодинамічні співвідношення. **Ізоентропійне витікання газу з резервуара. Способи одержання надзвукових швидкостей.** Формули Сен-Венана і Вантцеля, під- і надкритичний режими витікання газу. Газодинамічне та теплове «замикання» сопла. Формула Гюгоніо як обґрунтування загальної форми геометричного сопла (сопла Лаваля). Теплове, витратне, механічне сопла. **Модульна контрольна робота.**
Завдання на СРС:	Поширення малих та скінченних збурень в однорідному потоці газу. Обтікання точкового джерела збурення. Конус слабких Маха. Характеристики і зони «мовчання». Поняття про нелінійні хвилі та стрибки ущільнення. Механізм утворення прямої ударної хвилі і швидкість поширення її фронту. Ударні хвилі в надзвукових та навколозвукових потоках. Хвильова криза і хвильовий опір. Особливості обтікання плавнозатуплених тіл. Прямий стрибок ущільнення, ударна адіабата, формули Ренкіна-Гюгоніо і Л. Прандтля. Зростання ентропії на прямому стрибку. Поняття про косі стрибки ущільнення

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

№ з/п	*Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)*
1	***Теми 1.1–2.3.*** **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.
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	***Теми 4.1, 4.2.*** **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.
Завдання на СРС:	Практичне визначення сил тиску рідини на тверді поверхні.
3	***Тема 6.1–7.3.*** **Енергетичний баланс в'язких одновимірних течій. Гідравлічні втрати напору 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 напору 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 напору. Поняття про інтерференцію місцевих опорів.
Завдання на СРС:	Самостійно проробити питання витікання рідини через отвори і насадки, а також прямого гідравлічного удару.
4	***Тема 7.3, 7.4.*** **Основні концепції сучасного комп'ютерного моделювання в'язких течій.** Основні методи й моделі моделювання турбулентних течій: моделі RANS, Колмогорова–Прандтля, Спаларта-Аллмараса, (k-ε)-модель та її модифікації, двошарова модель Ментера та ін.
Завдання на СРС:	Практичне застосування простіших класичних моделей турбулентності в розрахунках течій; додаткова література. Можливості щодо практичного застосування існуючих методів моделювання турбулентних течій.
Модульна контрольна робота по матеріалах пророблених тем 1.1 — 5.3.	
5	***Теми 8.1–8.3.*** **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.
Завдання на СРС:	Самостійно ознайомитись з інтегральними співвідношеннями примежового шару, з методами розрахунку ламінарних і турбулентних примежових шарів.
6	***Теми 9.1–9.3.*** **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 Гюгоніо як обґрунтування загальної форми геометричного сопла (Лаваля). Способи одержання надзвукових швидкостей.
Завдання на СРС:	Ознайомитись із таблицями газодинамічних функцій та методом побудови сопла Лаваля
7	**Залікове заняття**

ЛАБОРАТОРНІ ЗАНЯТТЯ

Основні завдання циклу лабораторних занять: закріплення знань, набутих на лекціях, практичних заняттях, а також при самостійній проробці матеріалу курсу. Лабораторні роботи, що супроводжується відповідними розрахунками, сприяють наочному вивченню студентами процесів і явищ в механіці рідини і газу.

Перелік лабораторних робіт надано відповідно до розділів і тем лекційного курсу.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	**«Фізичні моделі й властивості рідин та газів» (розділ 1, тема 1.2), «Гідрогазостатика» (розділ 4, тема 4.1). Варіант 1:** Гідростатичний тиск та його вимірювання. **Варіант 2:** Прилади для вимірювання тиску. Перевірка робочого манометра.	2
2	**«Гідрогазостатика» (розділ 4, тема 4.1):** Вивчення відносного спокою рідини.	2
3	**«Кінематика рідини» (розділ 2, тема 2.1, 2.2):** Вивчення режимів руху рідини.	2
4	**«Динаміка ідеальної рідини» (розділ 5, тема 5.1), «Елементи гідравліки в'язкої нестисливої рідини» (розділ 6, тема 1):** Дослідне вивчення рівняння Бернуллі.	2
5	**«Кінематика рідини» (розділ 2, тема 2.1), «Динаміка ідеальної рідини» (розділ 5, тема 5.1), «Елементи гідравліки в'язкої нестисливої рідини» (розділ 6, тема 6.1), :** Прилади для вимірювання витрат рідини. Градуювання витратомірного пристрою змінного перепаду тиску.	2
6	**«Елементи гідравліки в'язкої нестисливої рідини» (розділ 6, тема 6.1), «Динаміка в'язкої рідини» (розділ 7, тема 7.3):** Втрати напору на тертя по довжині труби. Визначення коефіцієнтів гідравлічного тертя. **«Елементи гідравліки в'язкої нестисливої рідини» (розділ 6, тема 6.1):** Місцеві втрати напору. Визначення коефіцієнтів місцевих опорів	2
7	**«Елементи гідравліки в'язкої нестисливої рідини» (розділ 6, тема 6.2):** Витікання нестисливої рідини через отвори й насадки.	2
8	**Захист лабораторних робіт**	2

6. Самостійна робота студента

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, підготовку до лабораторних робіт, підготовки до модульної контрольної роботи і виконання розрахункової роботи. Кожний студент виконує ІСЗ за індивідуальними даними.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- *відвідування лабораторних 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;*
- *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 англомовних онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.*

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

Поточний контроль: *фронтальне експрес-опитування, опитування на практичних заняттях, захист лабораторних робіт, МКР, індивідуальне семестрове завдання.*

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

Семестровий контроль: *залік.*

Рейтинг студента з дисципліни *«Механіка рідини і газу»* складається з балів, які він отримує за:
1) відповіді при експрес-опитуванні на лекціях, максимальна оцінка 10 балів;
2) відповіді на практичних заняттях, максимальна оцінка 10 балів;
3) виконання модульної контрольної роботи (МКР), максимальна оцінка 20 балів;
4) виконання індивідуального семестрового завдання (ІСЗ), максимальна оцінка 20 балів;
5) виконання і захист лабораторних робіт, максимальна оцінка 40 балів.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

8.1. Фронтальне бліц-опитування на лекційних заняттях

У семестрі проводиться 2 фронтальних бліц-опитування. Ваговий бал одного – 5 балів. Максимальна кількість балів дорівнює

$$r_1 = 2 \times 5 = 10 \text{ балів.}$$

Критерії оцінювання одного бліц-опитування:
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

$$r_2 = 10 \text{ балів.}$$

Критерії оцінювання:
10 балів – повна вірна відповідь;
8-9 балів – вірна відповідь, є деякі недоліки
6-7 бали – неповна відповідь;
0-5 балів – невірна або відсутня відповідь.

8.3. Модульна контрольна робота (МКР)

Робочим навчальним планом передбачено проведення МКР в обсязі 2 год. МКР відбувається у вигляді двох контрольних робі по 1 годині кожна. Ваговий бал однієї контрольної роботи

складає 10 балів.

Максимальна кількість балів за МКР: $r_3 = 2 \times 10 = 20$ **балів**.

Рейтингові бали за одну контрольну роботу

Бали	***Критерій оцінювання***
10	Зауважень до результату немає, є чіткі відповіді на всі запитання
8-9	Зауважень до ходу розв'язання немає, але є певні неточності в розрахунках
6-7	Завдання виконане не повністю
0	Завдання повністю не виконане

8.4. Індівідуальне семестрове завдання (ІСЗ).

Максимальна кількість балів за правильно виконану ІСЗ: $r_4 =$ **20 балів**.

Рейтингові бали за розрахункову роботу

Бали	***Критерій оцінювання***
19-20	ІСЗ виконаное, зауважень немає, є відповіді на всі запитання.
17-18	ІСЗ виконаное з несуттєвими зауваженнями, у відповідях трапляються неточності.
15-16	ІСЗ виконаное з зауваженнями, є відповіді на більшість запитань.
13-14	ІСЗ виконаное з помилками, є відповіді лише на частину запитань.
12	ІСЗ виконаное із значними помилками, є відповіді лише на окремі питання.
0-11	ІСЗ невиконаное, звіт не представлений.

8.5. Лабораторні роботи

Ваговий бал однієї лабораторної роботи складає 5 балів.

Максимальна кількість балів за 8 лабораторних робіт: $r_5 = 5 \times 8 = 40$ **балів**.

Рейтингові бали за одну лабораторну роботу

Бали	***Критерій оцінювання***
5,0	Робота виконана повністю, зауважень немає, є відповіді на всі запитання.
4,5	Робота виконана з несуттєвими зауваженнями, у відповідях трапляються неточності.
4,0	Робота виконана з зауваженнями, є відповіді на більшість запитань .
3,5	Робота виконана з помилками, є відповіді лише на частину запитань.
3,0	Робота виконана із значними помилками, є відповіді лише на окремі питання.
0,0	Робота не виконана, звіт не представлений.

Штрафні та заохочувальні бали

Загальний рейтинг з дисципліни включає штрафні та заохочувальні бали, які додаються до суми вагових балів усіх контрольних заходів.

Нарахування штрафних балів не передбачено.

Заохочувальні бали можуть нараховуватися за оригінальні рішення та активність роботи на лекціях та практичних заняттях. Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати 10% від рейтингової шкали, тобто $100 \times 0{,}1 = 10$ балів.

8.6. Критерії оцінювання заліку

Рейтингова система оцінювання складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю, заохочувальних та штрафних балів. Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на останньому занятті з дисципліни в семестрі.

Необхідною умовою допуску до заліку є виконання та захист всіх лабораторних робіт та розрахункової роботи.

Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на передостанньому занятті з дисципліни в семестрі. Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідно до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольно роботи.

У цьому випадку бали, отримані за захист лабораторних робіт та розрахункової роботи залишаються, а бали отримані за відповіді при експрес-опитуванні на лекціях, відповіді на практичних заняттях і модульну контрольну роботу скасовуються.

Залікова контрольна робота складається з двох питань: теоретичного (20 балів) та практичного завдання (20 балів). Максимальна кількість балів, отриманих за залікову контрольну роботу, складає $\mathbf{r_6 = 20 + 20 = 40}$ **балів**.

8.7. Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$\boldsymbol{R} = \sum_i r_i \,, \; i = 1 \div 5,$$

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

За результатами заходів поточного контролю з дисципліни, заохочувальних балів:

без залікової контрольної роботи:

$$\boldsymbol{R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 = 10 + 10 + 20 + 20 + 40 = 100 \text{ балів}}$$

із заліковою контрольною роботою:

$$\boldsymbol{R = r_4 + r_5 + r_6 = 20 + 40 + 40 = 100 \text{ балів}}$$

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

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).

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Приклади контрольних завдань для модульної контрольної і розрахункової роботи

9.1. Теоретичні питання

Варіант 1. *Дати характеристику ньютонівських та неньютонівських рідин, класифікацію рідин за Доджем.*

Варіант 2. *Вивести рівняння нерозривності у змінних Лагранжа та Ейлера в інтегральній та диференціальній формах.*

Варіант 3. *Довести кінематичні або динамічні теореми про вихори в рідині.*

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**).*

Варіант 5. *Вивести диференціальні рівняння руху нев'язкої рідини; навести початкові та крайові умови. Пояснити можливості застосування при математичному моделюванні течії рідин і газів.*

Варіант 6. *Отримати та проаналізувати один з 4-х інтегралів рівнянь руху нев'язкої рідини.*

Варіант 7. *Розв'язання задачі на визначення силової дії одновимірного потоку нев'язкої нестисливої рідини на фасонні частини трубопроводів, перепони, елементи турбін.*

Варіант 8. *Отримати "турбінне рівняння" Л.Ейлера динамічних турбомашин. Дати повний аналіз його, межі практичного застосування.*

Варіант 9. *Описати методи експериментального визначення гідравлічних втрат напору в трубопроводах (на тертя по довжині або місцевих (**вибірково**).*

Варіант 10. *Дати розрахункове визначення гідравлічних втрат напору в простих трубопроводах (**вибірково**).*

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

Варіант 12. *Розв'язання задач на нестаціонарне витікання нестисливої рідини з ємностей різноманітної форми.*

Варіант 13. *Розв'язання задач на стаціонарну течію стисливого газу за ізотермічних та адіабатних умов.*

9.2. Комплексне завдання для певних підгруп

1) *Розрахунок гідравлічної системи енергетичної установки. 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 Лаваля 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 Лаваля 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, К	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800
	p_1, МПа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	v_1, м/с	300	330	360	400	420	450	470	500	530	560
	$p_{зовн}$, МПа	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, К	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500

9.3. Приклади щодо експрес-тестів

1. Визначити дотичне напруження у точці, що належить шару турбінного масла, кінематична в'язкість якого дорівнює $\nu = 0{,}3$ *Ст, густина* $\rho=900$ *кг/м*^{3}*, поперечний градієнт повздовжньої швидкості* $dv/dy = 2c^{-1}$.

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

3. Визначити швидкість звуку у повітрі відповідно до ізоентропійної моделі Лапласа-Пуассона при температурі t = 25 °C, прийнявши газову сталу R=287Дж/кг·К, показник адіабати k=1,4.

4. При яких швидкостях руху повітря з точністю до 2 % можна нехтувати зміною його густини? Швидкість звуку у повітрі прийняти a=340м/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 σ=0,073Н/м.

6. Знайти середню швидкість перегрітої пари у циліндричному трубопроводі внутрішнім діаметром d= 0,2 м при об'ємній витраті пари Q=1696м^3*/год.*

7. Повітря при t = 20 °C рухається із середньою швидкістю $v_c=10$ *м/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 $Q_m= 0{,}8$ *кг/с , густина* $\rho=846$ *кг/м*^{3} *, кінематична в'язкість* $\nu=0{,}28\cdot10^{-4}$ *м*^{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 м/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 $\rho_1=1{,}25$ *кг/м*^{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 = 6м під вільною поверхнею нафти, манометричний тиск над якою дорівнює $p_м=49$ *Па. Густина нафти* $\rho=890$ *кг/м*^{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 об/хв. Діаметр посудини дорівнює $d = 100$ *мм.*

13. *Визначити приріст тиску води у дозвуковому дифузорі при збільшенні діаметру у 2 рази, якщо середня швидкість на вході v_1 =2,8 м/с. Густина води ρ=1000 кг/м^3. Втратами енергії при русі води знехтувати.*

14. *Яку підіймальну силу щодо одиниці висоти поодинокої компресорної лопатки треба долати при роботі осьового компресора, якщо густина повітря ρ=1,8 кг/м^3, швидкість потенціального потоку, що набігає на лопатку v_∞=20 м/с, циркуляція навколо лопатки Г=1,111м^2/с. Обмеженістю обтікання лопатки та зривами потоку знехтувати.*

15. *Місцева швидкість течії в трубопроводі системи охолодження технологічного устаткування дорівнює 2 м/с, градієнт температури вздовж руху рідини складає 5 °С/м. Повна зміна температури у часі дорівнює 11 °С/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 м/с, на виході v_2=0,5 м/с.*

17. *При аварійній зупинці ядерного 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 °С/м та 3 ^{0}С/м. Відомо, що повна зміна температури у часі дорівнює 15 °С/с. Якою є локальна зміна температури у часі при русі рідини за таких умов?*

18. *Критерій Ейлера для течії води в гідравлічній системі теплообміннику при середній швидкості води на вході u_c = 1,5 м/с дорівнює Eu = 402 при густині води ρ=995 кг/м^3. Якому перепаду тиску на теплообміннику це відповідає?*

19. *Визначити швидкість звуку в повітрі згідно з ізотермічною та адіабатною моделями при температурі t = 25 °С, прийнявши газову сталу R = 287 Дж/(кг · К).*

9.4. Приклад білета до залікової контрольної роботи

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 натурного об'єкта у випадку, коли для обох потоків числа **Re** і **Fr** є відповідно однаковими, але модель виконано у масштабі довжини $\mathbf{m}_\ell$? Дані $\mathbf{m}_\ell$ 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**
$\mathbf{m}_\ell$	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	1:10	1:12

Робочу програму навчальної дисципліни «Механіка рідини і газу» (силабус) склав:
доцент кафедри ПГМ, канд. технічних наук ТУРИК Володимир Миколайович
доцент кафедри ПГМ, канд. технічних наук КОВАЛЬ Олексій Дмитрович

Ухвалено кафедрою ПГМ НН ММІ (протокол № 14 від 26.06.2026 року).

Погоджено методичною комісією навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту (протокол № 11 від 29.06.2026 року).