

Введение в механику жидкости

Полугодовой спецкурс на иностранном языке
(весенний семестр, Леонтьев Н.Е.)

Введение

1. Жидкости и газы как объекты изучения механики сплошной среды. Области приложения гидромеханики.
2. Классы систем единиц, используемых в гидромеханике. Характерный линейный масштаб явления. Характерный временной масштаб явления. Скорость потока, способы ее измерения. Ускорение. Масса. Вес и сила тяжести. Присоединенная масса тела в потоке.
3. Давление в жидкости. Гидравлический пресс. Работа сифона. Вязкие силы в движущейся жидкости. Вязкость.
4. Сжимаемость жидкостей. Модель несжимаемой жидкости. Примеры явлений, которые нельзя описывать в рамках модели несжимаемой жидкости. Распространение звука. Гидравлический удар.
5. Физическое моделирование гидродинамических явлений. Критерии подобия. Число Эйлера. Коэффициент сопротивления. Число Фруда. Его физический смысл. Примеры явлений, при моделировании которых важно учитывать число Фруда.
6. Число Рейнольдса. Его физический смысл. Приближенное моделирование явлений, в которых одновременно существенны числа Фруда и Рейнольдса. Моделирование открытых потоков.
7. Сжимаемость жидкости. Число Маха. Физическое моделирование сверхзвуковых потоков.

Базовые принципы механики жидкостей

8. Понятия, используемые при кинематическом описании движения жидкости. Вектор скорости. Траектории, линии тока, линии отмеченных частиц. Стационарные и нестационарные течения. Принцип относительности Галилея. Парадокс Дюбуа.
9. Ускорение. Полная производная. Местная и конвективная производные, их физический смысл. Закон сохранения массы для трубки тока в стационарном течении. Вихревая трубка. Кинематическая теорема Гельмгольца о сохранении интенсивности вихревой трубки.
10. Завихренность. Потенциальные течения. Твердотельное вращение жидкости. Потенциальный вихрь. Примеры явлений, для описания которых применима модель потенциальных течений. Картина линий тока и линий равного потенциала для плоских установившихся потенциальных течений. Электрогидродинамическая аналогия. Кинематическая аналогия течений идеальной жидкости с фильтрационными течениями в пористой среде.
11. Поверхностные и объемные силы в жидкости. Касательная и нормальная составляющие вектора напряжения. Уравнение движения идеальной жидкости. Запись уравнения Эйлера в естественных координатах в случае плоского стационарного течения, физическая интерпретация слагаемых.
12. Интегралы Бернулли и Коши — Лагранжа в случае течений со стационарным полем скорости. Зависимость коэффициента давления от поля скоростей. Качественное поведение поля скорости при безотрывном обтекании цилиндра.
13. Методы экспериментального определения скорости потока. Давление торможения. Трубка Пито — Прандтля. Трубка Вентури. Отрыв потока. Образование застойных зон. Кавитация.

14. Использование интегральных уравнений баланса массы и импульса для приближенного решения задач. Силы, действующие на стенки канала, при повороте потока. Удар струи о препятствие. Принцип действия реактивных двигателей.

Описание ламинарных и турбулентных течений

15. Вязкие жидкости. Граничное условие прилипания. Вязкость. Поверхностные силы при сдвиговом течении вдоль стенки. Плоское и цилиндрическое течение Куэтта. Принцип действия ротационного вискозиметра. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Вязкопластические жидкости. Плоское течение Пуазейля. Завихренность в течении Пуазейля. Принцип действия смазочного слоя.
16. Течения с малыми числами Рейнольдса. Течение Хеле-Шоу. Осаждение частиц. Формула Стокса для силы сопротивления. Область применимости формулы Стокса.
17. Течение Пуазейля в круглой трубе. Оценка длины переходного участка на входе в трубу. Потеря устойчивости при больших числах Рейнольдса.
18. Пограничный слой, качественная зависимость его толщины от числа Рейнольдса.
19. Переход к турбулентности. Модель Буссинеска. Оценки турбулентной вязкости. Качественная зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса для течения вдоль пластинки и для течения в трубе.
20. Свободносдвиговые потоки. Затопленная струя. Качественное объяснение возникновения свободноконвективных потоков.
21. Измерение пульсационных характеристик турбулентных потоков. Работа проволочного анемометра. Представление об энергетическом каскаде Ричардсона для трехмерных течений.

Литература

1. Учебный фильм «Introduction to Fluid Motion»
(https://vk.com/wall-102183983_23)
2. Учебный фильм «Fundamental Principles of Flow»
(https://vk.com/wall-102183983_24)
3. Учебный фильм «Laminar and Turbulent Flow»
(https://vk.com/wall-102183983_25)
4. Л о й ц я н с к и й Л. Г. Механика жидкости и газа. (Любое издание.)
(<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Lojcyanskiy1950ru.djvu>)
(<http://gidropraktikum.narod.ru/Loitsyanskii-2003.djvu>)
5. К о ч и н Н. Е., К и б е л ь И. А., Р о з е Н. В. Теоретическая гидромеханика, Ч. 1, 2. М.: Физматлит, 1963.
(http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/KochinKibelRoze_ch1_1963ru.djvu)
(http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/KochinKibelRoze_ch2_1963ru.djvu)
6. Э г л и т М. Э. Лекции по основам механики сплошных сред. М.: Либроком, 2010.
(<http://gidropraktikum.narod.ru/Eglit-OMSS.djvu>)
7. С е д о в Л. И. Механика сплошной среды. Т. 1, 2. М.: Наука, 1994.
(<http://gidropraktikum.narod.ru/Sedov-MSS-1994-T-1.djvu>)
(<http://gidropraktikum.narod.ru/Sedov-MSS-1994-T-2.djvu>)
8. Ш л и х т и н г Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.
(<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Schlichting1974ru.djvu>)

9. Черный Г. Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988.
(<http://gidropraktikum.narod.ru/Chyornyi-1988.djvu>)
 10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. VI. Гидродинамика, М.: Наука, 1986.
(<http://gidropraktikum.narod.ru/Landau-hydro.djvu>)
 11. Зверев И. Н., Смирнов Н. Н. Газодинамика горения. М.: Изд-во МГУ, 1987.
(<http://gidropraktikum.narod.ru/Zverev-Smirnov.djvu>)
 12. Липман Г. В., Рощко А. Элементы газовой динамики. М.: ИЛ, 1960.
(<http://gidropraktikum.narod.ru/Liepmann-Roshko.djvu>)
 13. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1977.
(<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Sedov1977ru.djvu>)
-

На экзамене необходимо:

- владеть основными понятиями и моделями механики сплошных сред из приведенного ниже списка, понимать их взаимосвязь;
 - знать замкнутые системы уравнений и типичные граничные условия для моделей идеальной и вязкой жидкости;
 - знать базовую английскую терминологию механики сплошной среды и гидромеханики.
-

Понятия из механики сплошных сред, которыми нужно владеть на экзамене

1. Лагранжево и эйлерово описание движения сплошной среды. Лагранжевы и эйлеровы координаты. Скорость, ускорение, закон движения сплошной среды. Траектории материальных частиц, линии тока в фиксированный момент времени.
2. Полная (материальная) производная физической величины, ее физический смысл.
3. Тензор скоростей деформаций, выражение его компонент через поле скорости, физический смысл его диагональных и внедиагональных компонент в декартовой системе координат. Физический смысл следа тензора скоростей деформаций.
4. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности.
5. Поверхностные и объемные силы. Вектор напряжения на площадке внутри сплошной среды. Тензор напряжения, физический смысл его компонент в декартовой системе координат. Формула Коши для выражения вектора напряжения через компоненты тензора напряжения и нормаль к площадке.
6. Дифференциальное уравнение, выражающее баланс импульса в сплошной среде.
7. Модель идеальной (невязкой) жидкости. Вид вектора напряжения и тензора напряжения. Давление. Уравнение Эйлера для идеальной жидкости. Замкнутая система уравнений для движения однородной несжимаемой идеальной жидкости. Граничное условие непротекания на границе идеальной жидкости с твердым телом. Интеграл Бернулли для стационарных течений однородной несжимаемой жидкости.
8. Модель линейно-вязкой жидкости. Закон вязкого трения Ньютона (закон Навье — Стокса). Вид тензора напряжений в вязкой жидкости. Уравнение Навье — Стокса. Замкнутая система уравнений для движения однородной несжимаемой жидкости с постоянной вязкостью. Граничное условие прилипания на границе вязкой жидкости с твердым телом.