

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

Л. В. Гензе

Оценочная программа дисциплины

Гидромеханика

по направлению подготовки

01.03.03 Механика и математическое моделирование

Направленность (профиль) подготовки/специализация:
Теоретическая, вычислительная и экспериментальная механика

Форма обучения
Очная

Квалификация
Механик. / Механик. Исследователь

Год приема
2024, 2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
Л. В. Гензе

Председатель УМК
Е. А. Тарасов

Томск – 2024

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических наук и механики в профессиональной деятельности.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-1.1 Знает типовые постановки задач математики и механики, классические методы решения, теоретические основы методов и границы их применимости

РООПК-1.2 Способен адаптировать известные математические методы для решения поставленной задачи в области математики и механики

РООПК-1.3 Способен провести решение поставленной задачи в области математики и механики с использованием полученных фундаментальных знаний и получить результат

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, опроса обучающихся в ходе занятий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. Обтекание цилиндра без циркуляции.
2. Теорема Жуковского о подъемной силе. Присоединенный вихрь Жуковского.
3. Формулы Чаплыгина-Блазиуса для R (главный вектор сил давления) и L (главный момент сил давления) через параметры фиктивного течения.
4. Обтекание профилей с отрывом струй.
5. Примеры образования вихрей. Образование вихрей в воздушной атмосфере, окружающей землю. Морские течения.
6. Постановка задачи об отыскании одномерных течений вязкой жидкости.
7. Толщина вытеснения и толщина потери импульса.
8. Основная система уравнений гидромеханики.
9. Формулы Чаплыгина-Блазиуса для определения подъемной силы и момента, возникающих при обтекании произвольного профиля.
10. Связь между характерными величинами основного и преобразованного потока.
11. Основные уравнения теории вихрей. Теоремы Томсона, Лагранжа, Гельмгольца.
12. Образование вихрей в атмосфере вследствие вращения земли вокруг своей оси.
13. Две вихревые цепочки Кармана. Схема Кармана движения тела в жидкости с образованием вихрей. Вычисление лобового сопротивления по Карману.
14. Метод последовательных приближений (метод Швеца).
15. Явления переноса в турбулентном потоке. Полуэмпирические теории турбулентного течения.
16. Профили скоростей при турбулентном течении в круглой трубе.
17. Законы сопротивления при турбулентном движении в трубах.
18. Движение жидкости в шероховатых трубах.

Контрольная работа состоит из одного теоретического вопроса: из перечня 1–18 и 1 задачи.

Примеры задач:

Задача 1.

Для поля скоростей

$$v_i = x_i / (1 + t), \quad i = 1, 2, 3 \quad (1.1)$$

показать, что

$$\rho x_1 x_2 x_3 = \rho_0 \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3, \quad (1.2)$$

где $\gamma_i = x_i(0)$ – координаты Лагранжа

Задача 2.

Пусть $\sigma_{ij} = -p\delta_{ij}$, где σ_{ij} – тензор напряжений, p – давление. Показать, что мощность напряжения можно представить выражением (ρ – плотность, t – время)

$$D_{ij}\sigma_{ij} = \frac{p}{\rho} \frac{d\rho}{dt}.$$

Задача 3.

Теорема об изменении количества движения в дифференциальной форме выражается уравнением

$$\partial(\rho v_i) / \partial t = \rho b_i + \partial(\sigma_{ij} - \rho v_i v_j) / \partial x_j, \quad i, j = 1, 2, 3, \quad (3.1)$$

где σ_{ij} – тензор напряжений, ρv_i – массовые силы с плотностью распределения b_i .

Доказать, что уравнение

$$\rho dv_i / dt = \rho b_i + \partial\sigma_{ij} / \partial x_j \quad (3.2)$$

следует из (3.1)

Задача 4.

Определяющие уравнения для некоторой среды имеют вид

$$\sigma_{ij} = \delta_{ij}(\lambda D_{kk} - p) + 2\mu D_{ij}, \quad i, j = 1, 2, 3,$$

где μ и λ – постоянные, D_{ij} – тензор скоростей деформаций. Написать уравнение движения, выраженные через вектор скорости \bar{v} . Использовать уравнение (3.2).

Задача 5.

Доказать, что Лагранжева форма уравнения неразрывности

$$d(\rho J) / dt = 0 \quad (5.1)$$

и Эйлера его форма

$$d\rho / dt + \rho(\nabla \cdot \bar{v}) = 0 \quad (5.2)$$

эквивалентны, где

$$J = |\partial x_i / \partial \gamma_j|, \quad i, j = 1, 2, 3$$
 – Якобиан преобразования,

$x_i, i = 1, 2, 3$ – декартовы координаты Эйлера, $\gamma_j, j = 1, 2, 3$ – координаты Лагранжа.

Задача 6.

Определить среднее нормальное напряжение $\sigma_{ij} / 3$ в несжимаемой стоксовой жидкости через инварианты: I_1 и I_2 , для которой тензор вязких напряжений

$$\tau_{ij} = \alpha D_{ij} + \beta D_{ik} D_{kj}, \quad (6.1)$$

где α и β – постоянные.

Задача 7.

В двумерном течении, параллельном плоскости x_1, x_2 компонента скорости $v_3 = 0$ и $\partial v_3 / \partial x_3 = 0$. Написать для этого случая уравнение движения и уравнение неразрывности несжимаемой жидкости

Задача 8.

Доказать, что в невязкой, баротропной жидкости при потенциальных массовых силах скорость изменения циркуляции (Γ) равна нулю:

$$d\Gamma / dt = 0$$
 – теорема Кельвина.

Задача 9.

Показать, что функция $\varphi = -q / (4\pi r)$, $r = (x^2 + y^2 + z^2)^{0.5}$ является потенциалом скорости несжимаемой жидкости, имеющей особенность в начале координат ($r = 0$).

Найти линии тока, вектор скорости и вычислить объем жидкости, протекающий в единицу времени через поверхность сферы радиуса r с центром в начале координат.

Задача 10.

Интегрированием уравнения Эйлера

$$d\bar{v} / dt = -\nabla(U + P) \quad (10.1)$$

вдоль линии тока получить уравнение Бернулли

$$U + P + v^2 / 2 + \int (\partial v_i / \partial t) dx_i = C(t). \quad (10.2)$$

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания.

Дифференцированный зачет в седьмом семестре (итоговая аттестация) проводится в форме двух теоретических вопросов в билете. Перечень вопросов в билетах:

Билет № 1. 1. Основная система уравнений гидромеханики. При каком условии получают-ся уравнения Эйлера и выписать эти уравнения. 2. Подъемная сила.

Билет № 2. 1. Связь функции тока с потенциалом скорости. Комплексный потенциал, комплексная скорость. 2. Сохраняемость вихревых линий, теорема Томсона, теорема Гельмгольца. Образование вихрей, теорема Бьеркнеса.

Билет № 3. 1. Набор простейших течений: однородный поступательный поток, источник, точечный вихрь. Интенсивность источника, мощность вихря. Источник и сток равной интен-сивности, диполь. 2. Примеры образования вихрей. Образование вихрей в воздушной атмосфере, окружающей землю. Морские течения.

Билет № 4. 1. Обтекание цилиндра без циркуляции. Парадокс Даламбера. 2. Образование вихрей в атмосфере вследствие вращения земли вокруг своей оси.

Билет № 5. 1. Обтекание однородным потоком круглого цилиндра с циркуляцией. Крити-ческие точки на поверхности цилиндра и вне его. 2. Определение поля скоростей по за-данному вихрю и расхождению скорости.

Билет № 6. 1. Формулы Чаплыгина-Блазиуса для определения подъемной силы и момента, возникающих при обтекании произвольного профиля. 2. Поле скоростей, вызываемое изолированной вихревой нитью в несжимаемой идеальной жидкости. Формула Био-Савара.

Билет № 7. 1. Свойства линий тока в окрестности особых точек. 2. Течение вокруг одной прямолинейной вихревой нити.

Билет № 8. 1. Теорема Кутта-Жуковского о подъемной силе. Присоединенный вихрь Жу-ковского. 2. Течение от двух прямолинейных вихревых нитей.

Билет № 9. 1. Метод конформных отображений в гидромеханике. Формула для циркуля-ции Γ через параметры фиктивного течения. 2. Вихревой слой. Вихревая цепочка Кар-мана. Симметричное и несимметричное расположение вихрей.

Билет № 10. 1. Связь между комплексными скоростями действительного и фиктивного течения. 2. Две вихревые цепочки Кармана. Симметричное и несимметричное распо-ложение вихрей.

Билет № 11. 1. Постулат Чаплыгина-Жуковского для угловых точек профиля. 2. Некото-рые понятия и уравнения теории пограничного слоя.

Билет № 12. 1. Формулы Чаплыгина-Блазиуса для R (главный вектор сил давления) и L (главный момент сил давления) через параметры фиктивного течения. 2. Пограничный слой (ПС) в несжимаемой вязкой жидкости вдоль плоской пластины (задача Блазиуса).

Билет № 13 1. Безотрывное обтекание пластины. 2. Решение задачи Блазиуса.

Билет № 14. 1. Обтекание произвольного тонкого профиля под малым углом атаки. Метод Седова. 2. Метод последовательных приближений (метод Швеца).

Билет № 15. 1. Метод Глауэрта для решения задачи обтекания тонкого профиля произвольной формы под малым углом атаки. 2. Интегральные соотношения Кармана.

Билет № 16 1. Обтекание профилей с отрывом струй. Кавитационное течение. Метод Кирхгоффа на примере обтекания пластинки перпендикулярно помещенной в потоке. 2. Толщины вытеснения и толщины потери импульса.

Билет № 17. 1. Вихревые движения идеальной жидкости. Теоремы Томсона. 2. Турбулентное движение вдоль безграничной пластины. Ламинарный подслей.

Билет № 18. 1. Теорема Гельмгольца. 2. Профили скоростей при турбулентном течении в круглой трубе.

Билет № 19. 1. Кавитационное симметричное обтекание пластины. 2. Законы сопротивления при турбулентном движении в трубах.

Билет № 20. 1. Метод Жуковского оценки суммарного действия потока на крыло. 2. Движение жидкости в шероховатых трубах.

Продолжительность дифференцированного зачета составляет 2 часа, в зависимости от количества сдающих зачет студентов.

При ответе на вопросы билета оценивается полнота и точность ответа, логичность и аргументированность изложения материала, умения использовать в ответе фактический материал. Результаты зачета определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Даны правильные и развернутые ответы на вопросы в билете. Студент правильно изложил свой ответ на поставленный дополнительный устный вопрос – «отлично».

Дан правильный ответ на вопросы в билете, но не все изложено развернуто и логически структурировано – «хорошо».

В целом дан правильный ответ на вопросы в билете, но он изложен поверхностно и с нарушением логики изложения – «удовлетворительно»

Дан неправильный ответ, однозначно неправильное понимание вопросов в билете на дифференцированном зачете – «неудовлетворительно».

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Примеры теоретических вопросов:

1. Основные уравнения гидромеханики.

Ответ должен содержать знание закона сохранения массы, сил, действующих в жидкости, закон сохранения импульса и уравнение движения жидкости в напряжениях.

2. Плоское безвихревое движение несжимаемой жидкости.

Ответ должен содержать понятие применение комплексного переменного в гидромеханике, функция тока; связь функции тока с потенциалом скорости, обтекание круглого цилиндра без циркуляции и обтекание цилиндра с циркуляцией.

3. Плоская задача о движении тела в идеальной жидкости.

Ответ должен содержать знание подъемной силы, формулы Чаплыгина-Блазиуса, теоремы Кутта-Жуковского, метод Жуковского оценки суммарного действия потока на крыло.

4. Метод конформного отображения.

Ответ должен содержать знание о применении метода конформных отображений в гидромеханике, связь между комплексными скоростями действительного и фиктивного течения, постулат Чаплыгина-Жуковского и формулу Чаплыгина-Блазиуса

5. Теория тонких профилей.

Ответ должен содержать знание о метода Седова (Серебрянского) или метода Глауэрта решения задачи обтекания тонкого профиля

6. Обтекание профилей с отрывом струй

Ответ должен содержать знание метода Кирхгофа, что такое кавитационное симметричное обтекание пластины.

7. Вихревые движения идеальной жидкости.

Ответ должен содержать знание теоремы Томсона, теорема Гельмгольца, как образуются вихри, образование вихрей в атмосфере, образование морских течений.

8. Определение поля скоростей по заданному полю вихрей и полю расхождения скорости.

Ответ должен содержать знание о вычислении вектора скорости по вихрю и полю расхождения скорости для бесконечного пространства.

9. Вихревые цепочки Кармана.

Ответ должен содержать знание об одной вихревая цепочка Кармана или двух вихревых цепочках.

10. Приближенное решение уравнения вязкой несжимаемой жидкости при больших числах Рейнольдса ($Re \gg 1$) теория пограничного слоя

Ответ должен содержать знания об уравнениях теории пограничного слоя, о пограничном слое в вязкой несжимаемой жидкости вдоль плоской пластины, задачи Блазиуса, о толщине вытеснения и толщине потери импульса.

11. Турбулентное движение вдоль безграничной пластины и некоторые течения в трубах.

Ответ должен содержать знания о турбулентном движении вдоль безграничной пластины, о ламинарном подслое, о профиле скоростей при турбулентном течении в круглой трубе.

12. Законы сопротивления при турбулентном движении в трубах.

Ответ должен содержать знания о степенном законе сопротивления Блазиуса и при каком Re он выполняется. Привести логарифмический закон сопротивления Никурадзе.

13. Движение жидкости в шероховатых трубах.

Ответ должен содержать знания о законе сопротивления для режима развитой шероховатости.

Информация о разработчиках

Якимов Анатолий Степанович, д.т.н., профессор, каф. физической и вычислительной механики ММФ, профессор кафедры.