

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

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

Л. В. Гензе

Рабочая 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. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

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:

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

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

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

2. Задачи освоения дисциплины

Для ее изучения необходимо освоить знания, умения и навыки, формируемые в курсах «механика сплошной среды»; «теоретическая механика»; «дифференциальные уравнения»; «комплексный анализ») на первых трех курсах.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Седьмой семестр, дифференцированный зачет с оценкой

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «механика сплошной среды»; «теоретическая механика»; «дифференциальные уравнения»; «комплексный анализ».

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часа, из которых:

-лекции: 64 ч.,

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Основные уравнения гидромеханики: 1.1. Закон сохранения массы. 1.2. Силы, действующие в жидкости. Закон сохранения импульса. 1.3. Уравнение движения жидкости в напряжениях. 1.4. Уравнения движения идеальной жидкости. 1.5. Уравнения Эйлера движения идеальной жидкости. Интеграл Бернулли для линии тока. 1.7. Начальные и граничные условия.

Тема 2. Плоское безвихревое движение несжимаемой жидкости: 2.1. Некоторые определения и задачи о движении тела в жидкости. 2.2. Применение комплексного

переменного в гидромеханике, функция тока; связь функции тока с потенциалом скорости; плоскость годографа скорости. 2.3. Исследование потоков с известным комплексным потенциалом. 2.4. Обтекание круглого цилиндра без циркуляции. 2.5. Обтекание цилиндра с циркуляцией.

Тема 3. Плоская задача о движении тела в идеальной жидкости: 3.1. Подъемная сила. 3.2. Формула Чаплыгина-Блазиуса. 3.3. Теорема Кутта-Жуковского. 3.4. Метод Жуковского оценки суммарного действия потока на крыло.

Тема 4. Метод конформного отображения: 4.1. Применение метода конформных отображений в гидромеханике. 4.2. Связь между комплексными скоростями действительного и фиктивного течения. 4.3. Постулат Чаплыгина-Жуковского. 4.4. Формула Чаплыгина-Блазиуса.

4.5. Безотрывное обтекание пластины.

Тема 5. Теория тонких профилей: 5.1. Метод Л.И. Седова (Серебрянского). 5.2. Метод Глауэрта решения задачи обтекания тонкого профиля.

Тема 6. Обтекание профилей с отрывом струй: 6.1. Введение. 6.2. Метод Кирхгофа. 6.3. Кавитационное симметричное обтекание пластины. 6.4. Методы Жуковского-Митчела и Леви-Чивита.

Тема 7. Вихревые движения идеальной жидкости: 7.1. Введение. 7.2. Теорема Томсона. 7.3. Теорема Гельмгольца. 7.4. Образование вихрей. 7.5. Образование вихрей в атмосфере. 7.6. Образование морских течений. 7.7. Образование вихрей у поверхности.

Тема 8. Определение поля скоростей по заданному полю вихрей и полю расхождения скорости: 8.1. Вычисление вектора скорости по вихрю и полю. расхождения скорости для бесконечного пространства. 8.2. Течение одной замкнутой вихревой линии (нити). 8.3. Течение от прямолинейной вихревой линии. 8.4. Течение от двух прямолинейных вихревых линий.

Тема 9. Вихревые цепочки кармана: 9.1. Одна вихревая цепочка Кармана. 9.2. Две вихревые цепочки.

Тема 10. Приближенное решение уравнения вязкой несжимаемой жидкости при больших числах Рейнольдса ($Re \gg 1$). теория пограничного слоя: 10.1. Некоторые понятия и уравнения теории пограничного слоя. 10.2. Пограничный слой в вязкой несжимаемой жидкости вдоль плоской пластины. Задача Блазиуса. 10.3. Решение задачи Блазиуса. 10.4. Метод последовательных приближений. Метод Швеца. 10.5. Интегральные соотношения Кармана. 10.6. Толщина вытеснения и толщина потери импульса.

Тема 11. Турбулентное движение вдоль безграничной пластины и некоторые течения в трубах: 11.1. Турбулентное движение вдоль безграничной пластины. Ламинарный подслей. 11.2. Профили скоростей при турбулентном течении в круглой трубе. 11.3. Законы сопротивления при турбулентном движении в трубах. 11.4. Движение жидкости в шероховатых трубах.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, тестов по лекционному материалу и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой в седьмом семестре проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса. Если студент не ответил полностью на один из теоретических вопросов, задается один дополнительный устный вопрос. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов:

Тема I

1. Что с точки зрения Лагранжа и Эйлера служит объектом изучения при движении жидкости?
2. Как записывается уравнение неразрывности в переменных Лагранжа и Эйлера?
3. Каким образом действуют массовые и поверхностные силы?
4. Что такое гидростатическое давление? Уравнение (закон) Бернулли для стационарного течения идеальной несжимаемой жидкости.
5. Принцип Бернулли для давления жидкости в трубе и уравнение Бернулли для горизонтальной трубки тока.
6. Как определяется связь между вязкими напряжениями и скоростями деформации?
7. Записать уравнение Эйлера движения идеальной жидкости на оси декартовой системы координат.

Тема II

1. Какое течение называется плоским и какие существуют две основные задачи гидродинамики?
2. Какая связь между функцией тока и потенциалом скорости; необходимое и достаточное условие существования комплексного потенциала $w = \varphi + i\psi$.
3. Представление скорости комплексного потенциала в тригонометрической и показательной форме.
4. Что такое циркуляция вектора скорости и секундный массовый расход через замкнутый контур?
5. Формула для давления при обтекании круглого цилиндра без циркуляции и парадокс Даламбера.
6. Формула для комплексного потенциала при обтекании цилиндра с циркуляцией.

Тема III

1. Почему появляется подъемная сила при циркуляционном обтекании цилиндра? Величина подъемной силы и ее направление при $\Gamma < 0$ и $\Gamma > 0$.
2. Первая и вторая формула Чаплыгина-Блазиуса для главного вектора сил давления $\underline{R}$ и главного момента гидродинамического давления L .
3. Теорема Кутта-Жуковского
4. Главный комплексный вектор сил давления $\underline{R}$ и главный момент сил давления L (формулы).

Тема IV

1. Чему равна циркуляция Γ' вектора скорости при обтекании цилиндра в плоскости фиктивного течения?
2. Постулат Чаплыгина-Жуковского при обтекании профиля с задней острой кромкой и формула для циркуляции в плоскости фиктивного течения.
3. Формула Чаплыгина-Блазиуса для силы сопротивления и подъемной силы в плоскости фиктивного течения.
4. Сила сопротивления и подъемная сила при безотрывном обтекании пластины.
5. Чему равна сила давления на пластину с шириной δ .

Тема V

1. Метод Седова-Серебрянского для решения задач обтекания тонких профилей; формулы для силы сопротивления, подъемной силы и главного момента сил давления в частном случае обтекания пластины: $F'(\xi) = 0$.

2. В чем идея метода Глауэрта при решении задачи о тонком крыле? Формулы силы сопротивления, подъемной силы и главного момента сил давления через коэффициенты разложения в ряд: B_0, B_1, B_2 .

Тема VI

1. Что такое отрывное течение? Какое течение называется кавитационным? Что такое течение Гельмгольца-Кирхгофа?
2. Уравнение свободной линии тока в параметрической форме при кавитационном симметричном обтекании пластины; чему равна постоянная δ ? Чему равна сила лобового сопротивления пластины D и коэффициент лобового сопротивления?

Тема VII

1. Определение вихревой линии и уравнения вихревой линии.
2. Теоремы Томсона и Лагранжа при вихревом течении идеальной жидкости.
3. Теорема Гельмгольца и ее следствие при том же течении, что и в пункте 2.
4. Теорема Бьеркнеса (через замкнутый контур L), небаротропная жидкость и когда появляются вихревые течения?
5. Почему образуются морские течения через проливы между морями и океанами?

Тема VIII

1. Прямая и обратная задача при заданном поле скоростей движущейся жидкости.
2. Выписать формулу для скорости при течении одной замкнутой вихревой линии.
3. Формула для скорости при течении от прямолинейной вихревой линии.
4. Формула для составляющей скорости v_y при течении от двух прямолинейных вихревых линий.

Тема IX

1. Почему одна вихревая цепочка остается неподвижной?
2. Устойчивость вихревой цепочки Кармана и условие устойчивости.

Тема X

1. Система уравнений движения Прандтля для пограничного слоя (ПС) при $Re \gg 1$.
2. Задача Блазиуса в ПС на пластине через безразмерную функцию $\phi = \psi/\psi_0$ тока и автомодельную переменную $\eta = y/\delta$, δ – толщина ПС.
3. Сопротивление пластины из решения задачи Блазиуса и коэффициент сопротивления пластины.
4. Касательное напряжение пластины $\tau_{xy}|_{y=0}$ при использовании метода последовательных приближений Швеца.
5. Физический смысл толщины вытеснения и толщины потери импульса.

Тема XI

1. Что называется ламинарным подслоем?
2. Чем отличаются коэффициенты вязкости при ламинарном и турбулентном течении?
3. Формула Прандтля для турбулентного напряжения трения через градиент скорости и длины перемешивания.
4. Разделение потока жидкости по вертикали к пластине на три области.
5. Логарифмический профиль скорости в круглой трубе при турбулентном течении и его универсальность.
6. Закон сопротивления при турбулентном движении в трубе.
7. Что такое развитая шероховатость и относительная шероховатость?

8. Что такое гидродинамически гладкая шероховатость? Режим развитой и промежуточной шероховатости.
9. Закон сопротивления для режима развитой шероховатости.

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

а) Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, тестов по лекционному материалу и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине фиксируются в системе “**moodle**” на сайте ТГУ.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «LMS IDo» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=33771>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. *Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В.* Теоретическая гидромеханика. Т. 1. М.–Л. Физматгиз, 1963. 535 с.

2. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука, 2003. 840 с.

3. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 712 с.

б) дополнительная литература:

1. *Седов Л.И.* Механика сплошной среды. Т. 1. М.: Наука, 1970. 492 с.

2. *Гриднева В.А.* Лекции по механике сплошной среды. Учебное пособие. Томск. Изд-во ТГУ, 2004. 428 с.

3. *Якимов А.С.* Гидромеханика. Теория и задачи. Учебное пособие. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2019.

13. Перечень информационных технологий

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

15. Информация о разработчиках

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