

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского



подписано электронно-цифровой подписью

### Программа дисциплины

Теория струйных и кавитационных течений М1.ДВ.1

Направление подготовки: 010800.68 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика жидкости, газа и плазмы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Маклаков Д.В.

**Рецензент(ы):**

Егоров А.Г.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Егоров А. Г.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского :

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 817212414

Казань  
2014

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Маклаков Д.В.  
Кафедра аэрогидромеханики отделение механики , Dmitri.Maklakov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является изучение и практическое освоение методов исследования линейных и нелинейных задач теории струй и кавитации. Рассматриваются задачи кавитационного обтекания подводных крыльев и гребных винтов, задачи глиссирования, проблемы учета силы тяжести и поверхностного натяжения. Изучаются математические вопросы постановок линейных и нелинейных задач, способы сведения к системам не-линейных интегральных уравнений, методы дискретизации этих уравнений и их решения на ЭВМ. В результате освоения курса студенты должны научиться решать достаточно сложные задачи со свободными границами и границами раздела. Лекционный курс сопровождается лабораторными и самостоятельными занятиями, где студенты обязаны уметь правильно реализовать изучаемые методы и решить с их помощью задачи, имеющие практический интерес.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " М1.ДВ.1 Общенаучный" основной образовательной программы 010800.68 Механика и математическое моделирование и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 1 курсе, 1 семестр.

Дисциплина входит в специальную часть профессионального цикла и является продолжением курса "Аналитические методы гидродинамики". Для ее освоения нужны первоначальные знания из курсов механики сплошной среды и теории функций комплексного переменного.. Получаемые знания, умения и навыки необходимы для решения практических задач о движении тел в воде с большими скоростями. и используются при выполнении магистерских диссертаций по направлению "механика и математическое моделирование"

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-2 (общекультурные компетенции)	Способность общаться со специалистами из других областей (ОК-2);
ПК-1 (профессиональные компетенции)	Владение методами математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных математических дисциплин и компьютерных наук (ПК-1);
Пк-10	Способность к собственному видению прикладного аспекта в строгих математических формулировках (ПК-10);
ПК-12 (профессиональные компетенции)	Способность к определению общих форм, закономерностей, инструментальных средств для групп дисциплин (ПК-12)
ПК-14 (профессиональные компетенции)	Владение методами физического и математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин, теории эксперимента и компьютерных наук (ПК-14)

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-13 (профессиональные компетенции)	Способность к самостоятельному построению целостной картины дисциплины (ПК-13);
ПК-7 (профессиональные компетенции)	Способность к самостоятельному анализу физических аспектов в классических постановках математических задач и задач механики (ПК-7);
ПК-8 (профессиональные компетенции)	Умение публично представить собственные новые научные результаты (ПК-8);
ПК-18 (профессиональные компетенции)	Способность к преподаванию физико-математических дисциплин и информатики в средней школе, средних специальных и высших учебных заведениях на основе полученного фундаментального образования и научного мировоззрения (ПК-18)

В результате освоения дисциплины студент:

4. должен демонстрировать способность и готовность:

В результате освоения данной дисциплины обучающийся должен:

1. Понимать сущность постановок задач теории струй и кавитации.
2. Освоить математические методы, применяемые в теории струй.
3. Уметь применять эти методы для решения типичных струйных и кавитационных задач.

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 1 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Применение теоремы об изменении количества движений к задачам теории струй. Натекание струи на стенку.	1	1-2	2	2	0	устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Обтекание криволинейных препятствий. Метод Леви-Чивиты.	1	3-4	2	2	0	устный опрос
3.	Тема 3. Формулы Леви-Чивиты для сил, действующих на криволинейное препятствие.	1	5-6	2	2	0	устный опрос
4.	Тема 4. Аналог теоремы Кутта-Жуковского при обтекании	1	7-8	2	2	0	контрольная работа
5.	Тема 5. Обратная задача кавитационного обтекания гидропрофиля	1	9-10	2	2	0	устный опрос
6.	Тема 6. Явление кавитации	1	11-16	2	6	0	устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	1		0	0	0	зачет
	Итого			12	16	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### **Тема 1. Применение теоремы об изменении количества движений к задачам теории струй. Натекание струи на стенку.**

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лекция 1. Применение теоремы об изменении количества движений к задачам теории струй. Формула сопротивления для струйного обтекания клина. Сила набегающей струи, действующая на плоскую стенку, формулы для расходов. Полное решение задачи о натекании струи на плоскую стенку.

###### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Практическое занятие 1. Силы набегающей струи, действующие на клин и плоскую стенку. Метод особых точек Чаплыгина для задачи о плоской стенке.

##### **Тема 2. Обтекание криволинейных препятствий. Метод Леви-Чивиты.**

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лекция 2. Обтекание криволинейных препятствий. Параметризация Леви-Чивиты. Краевая задача для аналитической функции в параметрической плоскости. Вторая часть метода Леви-Чивиты (представление искомой функции функции в виде ряда). Условия гладкого отрыва Бриллюена-Вилла

###### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Практическое занятие 2. Построение основных функций в параметрическом полукруге. Выделение особенностей. Ряд Леви-Чивиты. Представление условий гладкого отрыва через коэффициенты ряда.

##### **Тема 3. Формулы Леви-Чивиты для сил, действующих на криволинейное препятствие.**

###### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лекция 3. Формулы Леви-Чивиты для сил, действующих на криволинейное препятствие. Асимптотическое поведение струй на бесконечности. Формула Чаплыгина.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Практическое занятие 3. Представление сил, действующих на криволинейное препятствие через коэффициенты ряда. Парабола Чаплыгина.

**Тема 4. Аналог теоремы Кутта-Жуковского при обтекании**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лекция 4. Аналог теоремы Кутта-Жуковского при обтекании профиля с отрывом струй (формулы Маклакова для подъемной силы и сопротивления).

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Практическое занятие 4. Контрольная работа

**Тема 5. Обратная задача кавитационного обтекания гидропрофиля**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лекция 5. Постановка обратной задача кавитационного обтекания гидропрофиля. Условия согласования. Общее решение обратной задачи кавитационного обтекания гидропрофиля. Метод вычисления интеграла сингулярного интеграла.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Практическое занятие 5. Представлений основных функций в параметрической полуплоскости через распределение скоростей. Вычисления интеграла типа Коши на отрезке.

**Тема 6. Явление кавитации**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Лекция 6. Явление кавитации. Первое условие Бриллюена. Теорема о вогнутости стенок каверны. Парадокс Бриллюена. Обзор кавитационных схем. Обтекание пластины по схеме Эфроса. Формулы для силы. Основные уравнения. Обтекание пластины по схеме Тулина-Терентьева

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Практическое занятие 6. Схемы Рябушинского, Ву, Жукоского-Рошко-Эпплера, Тулина, Тулина-Терентьева и Эфроса. Практическое занятие 7. Метод Чаплыгина для схемы Тулина-Терентьева Практическое занятие 8. Метод Чаплыгина для схемы Эфроса

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Применение теоремы об изменении количества движений к задачам теории струй. Натекание струи на стенку.	1	1-2	подготовка к устному опросу	7	устный опрос
2.	Тема 2. Обтекание криволинейных препятствий. Метод Леви-Чтивиты.	1	3-4	подготовка к устному опросу	7	устный опрос
3.	Тема 3. Формулы Леви-Чивиты для сил, действующих на криволинейное препятствие.	1	5-6	подготовка к устному опросу	7	устный опрос
4.	Тема 4. Аналог теоремы Кутта-Жуковского при обтекании	1	7-8	подготовка к устному опросу	7	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Обратная задача кавитационного обтекания гидропрофиля	1	9-10	подготовка к устному опросу	7	устный опрос
6.	Тема 6. Явление кавитации	1	11-16	подготовка к устному опросу	9	устный опрос
	Итого				44	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Активные и интерактивные формы, лекции, семинарские занятия, контрольная работа, зачет. В течение учебного года студенты решают задачи, указанные преподавателем, к каждому семинару, самостоятельно изучают и докладывают на семинарах отдельные темы курса. К экзамену допускаются студенты, сдавшие все задачи и показавшие положительные результаты по текущей работе в течение семестра

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### Тема 1. Применение теоремы об изменении количества движений к задачам теории струй. Натекание струи на стенку.

устный опрос, примерные вопросы:

1) В чем суть применения теоремы об изменении количества движений? 2) Как найти отношение расходов для плоской стенки? 3) Какие особенности имеет функция  $dw/dt$ ? 4) Куда направлена сила, действующая на плоскую стенку? 5) От чего зависит величина силы, действующей на клин? 6) Какие особенности имеет функция  $dw/dt$ ?

### Тема 2. Обтекание криволинейных препятствий. Метод Леви-Чивиты.

устный опрос, примерные вопросы:

1) В чем состоит идея метода Леви-Чивиты? 2) Какие особенности имеет функция  $dw/dz$ ? 3) Что будет, если условия гладкого отрыва не выполнены? 4) В чем состоит идея выделения особенностей? 5) Какие особенности имеет функция  $\ln(dw/dz)$ ? 6) Сколько коэффициентов нужно взять в ряде Леви-Чивиты?

### Тема 3. Формулы Леви-Чивиты для сил, действующих на криволинейное препятствие.

устный опрос, примерные вопросы:

1) Какие математические параметры содержат формулы Леви-Чивиты для сил? 2) Как математические параметры связаны с коэффициентами ряда? 3) Какую роль играет второй коэффициент в ряде Леви-Чивиты? 4) Какую роль играет параметр  $\delta$ ? 5) Физический смысл первой производной функции Леви-Чивиты? 6) Физический смысл второй производной функции Леви-Чивиты?

### Тема 4. Аналог теоремы Кутта-Жуковского при обтекании

устный опрос, примерные вопросы:

1) Почему формула Маклакова для подъемной силы эквивалентна формуле Кутты-Жуковского? 2) Что в этой формуле играет роль циркуляции? 3) Можно ли найти подъемную силу и сопротивление по распределению скорости? 4) Записать формулу Маклакова для подъемной силы. 5) Записать формулу Маклакова для сопротивления. 6) Что такое гидродинамическое качество?

### Тема 5. Обратная задача кавитационного обтекания гидропрофиля

устный опрос, примерные вопросы:

- 1) В чем суть обратной задачи? 2) Какую область удобно выбрать в качестве параметрической.
- 3) Записать формулу решения задачи Шварца для нижней полуплоскости. 4) Есть ли в обратной задаче кавитационного обтекания условия разрешимости? 5) Какая аналитическая функция требует применения формулы Шварца? 6) С помощью какой простой задачи можно выделить особенности у  $\ln(dw/dz)$ ?

### Тема 6. Явление кавитации

устный опрос, примерные вопросы:

- 1) В чем суть первого условия Бриллюена? 2) В чем суть парадокса Бриллюена? 3) Изобразить на доске схему Эфроса? 4) Изобразить на доске схему Тулина? 5) Изобразить на доске схему Жуковского-Рошко-Эпплера? 6) Изобразить на доске схему Ву?

### Тема. Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

Проверка теоретических знаний и практических навыков осуществляется по 100-балльной рейтинговой системе, принятой к КФУ. 50 баллов отводится для оценки текущей успеваемости, 50 - для оценки на зачете. В конце семестра проводится контрольная работа.

Зачет принимается в конце 9-ого семестра. зачет ставится, если сумма баллов текущей успеваемости и оценки на зачете превышает 51.

Вопросы зачета

Теория струйных и кавитационных течений

- 1) Применение теоремы об изменении количества движений к задачам теории струй. Формула сопротивления для струйного обтекания клина.
- 2) Применение теоремы об изменении количества движений к задачам теории струй. Сила набегающей струи, действующая на плоскую стенку, формулы для расходов.
- 3) Полное решение задачи о натекании струи на плоскую стенку.
- 4) Обтекание криволинейных препятствий. Параметризация Леви-Чивиты. Краевая задача для аналитической функции  $(t)$  в параметрической плоскости. Вторая часть метода Леви-Чивиты.
- 5) Условия гладкого отрыва Бриллюена-Вилла.
- 5) Формулы Леви-Чивиты для сил, действующих на криволинейное препятствие.
- 6) Асимптотическое поведение струй на бесконечности. Формула Чаплыгина.
- 7) Аналог теоремы Кутта-Жуковского при обтекании профиля с отрывом струй (формула Маклакова для подъемной силы).
- 8) Аналог теоремы Кутта-Жуковского при обтекании профиля с отрывом струй (формула Маклакова для сопротивления).
- 9) Постановка обратной задачи кавитационного обтекания гидропрофиля. Условия согласования.
- 10) Общее решение обратной задачи кавитационного обтекания гидропрофиля.
- 11) Метод вычисления интеграла типа Коши по отрезку
- 12) Явление кавитации. Первое условие Бриллюена. Теорема о вогнутости стенок каверны. Парадокс Бриллюена. Обзор кавитационных схем.
- 13) Обтекание пластины по схеме Эфроса. Формулы для силы.
- 14) Обтекание пластины по схеме Эфроса. Основные уравнения.
- 15) Обтекание пластины по схеме Тулина-Терентьева

Варианты контрольной

Всего 18 вариантов с одним и тем же вопросом:

По заданным картине течения и параметрической плоскости построить функции  $dw/dt$  и  $dw/dz$

(Рисунки привести не могу)

### **7.1. Основная литература:**

Механика сплошной среды, Нигматулин, Роберт Искандерович, 2014г.

Особенности численной реализации методов решения прямых и обратных краевых задач аэрогидродинамики, Марданов, Ренат Фаритович, 2013г.

Николаенко В.Л. Механика - М: Новое знание, 2011. - 636 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/2911/>

Давыдова М.А. Лекции по гидродинамике. - М.: Физматлит, 2011. - 216 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/5264/>

### **7.2. Дополнительная литература:**

Покровский В.В. Механика. Методы решения задач: учебное пособие. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 253 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/8713/>

Сретенский Л.Н. Теория волновых движений жидкости. М.: Наука. 1977. 817 с.

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

Бармасов, А. В. Курс общей физики для природопользователей. Колебания и волны: учеб. пособие / А. В. Бармасов, В. Е. Холмогоров / Под ред. А. П. Бобровского. ? СПб.: БХВ-Петербург, 2009. ? 256 с. - <http://www.znanium.com/bookread.php?book=349952>

Введение в численные методы в задачах и упражнениях: Уч. пос./ А.В. Гулин и др. - М.: НИЦ ИНФРА-М: АРГАМАК-МЕДИА, 2014. - 368 с. -

<http://www.znanium.com/bookread.php?book=454592>

Гидравлика: Учебное пособие / Б.В. Ухин. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 464 с. - <http://www.znanium.com/bookread.php?book=375072>

Гидрогазодинамика: Учебное пособие / А.А. Кудинов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 336 - <http://www.znanium.com/bookread.php?book=410288>

Методы научного познания: Учебное пособие / С.А. Лебедев. - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 272 с - <http://www.znanium.com/bookread.php?book=450183>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Теория струйных и кавитационных течений" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "КнигаФонд", доступ к которой предоставлен студентам. Электронно-библиотечная система "КнигаФонд" реализует легальное хранение, распространение и защиту цифрового контента учебно-методической литературы для вузов с условием обязательного соблюдения авторских и смежных прав. КнигаФонд обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям новых ФГОС ВПО.

учебные аудитории для проведения лекционных и семинарских занятий, компьютерный класс с установленным пакетом МАТЕМАТИКА 7.0

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 010800.68 "Механика и математическое моделирование" и магистерской программе Механика жидкости, газа и плазмы .

Автор(ы):

Маклаков Д.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Егоров А.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.