



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

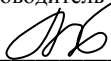
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ДВФУ**


«СОГЛАСОВАНО»

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель ОП

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) Бочарова А.А.  
«24\_» января (Ф.И.О. рук. ОП) 2020 г.

Заведующий кафедрой механики и математического  
моделирования

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) Бочарова А.А.  
«24\_» января (Ф.И.О. зав. каф.) 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Вычислительная гидродинамика**

**Направление подготовки: 15.04.03 Прикладная механика**

**Магистерская программа Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг**

**Форма подготовки (очная)**

курс   1   семестр   2  

лекции   36   час.

практические занятия   36   час.

лабораторные работы    -    час.

в том числе с использованием МАО   лек. 4   /   пр.б   /   лаб.   час.

всего часов аудиторной нагрузки   72   час.

в том числе с использованием МАО   10   час.

самостоятельная работа   108   час.

в том числе на подготовку к экзамену - 36 час.

контрольные работы (количество)

курсовая работа / курсовой проект 2 семестр

зачет    семестр

экзамен   2   семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно установленного федеральным государственным автономным учреждением высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет» для реализуемых основных профессиональных образовательных программ, утвержденного приказом ректора от 07.07.2015 г. № 1282.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры механики и математического моделирования протокол № 5 от «24» января 2020 г.

Заведующий кафедрой: к.ф-м.н., доцент А.А.Бочарова

Составитель: к.ф-м.н., доцент Е.В.Амосова

-

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## **Цели и задачи освоения дисциплины**

Учебная дисциплина «Вычислительная гидродинамика» предназначена для студентов 1 курса, обучающихся по направлению 15.04.03 «Прикладная механика», магистерская программа «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг». Дисциплина входит в вариативную часть блока «Дисциплины (модули)» (Б1.В.04).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 180 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 часов), практические занятия (36 часов), самостоятельная работа студента (54 часов). Предусматривается выполнение курсовой работы. Дисциплина реализуется на 1 курсе в 2-м семестре. Форма контроля - экзамен.

**Целью** изучения дисциплины «Вычислительная гидродинамика» является формирование у студентов компетенций, необходимых для научно-исследовательской и научно-педагогической деятельности в области математического и численного моделирования процессов гидромеханики и теплообмена, создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования задач механики жидкости совместно с сопряженными процессами тепло- и массопереноса.

### **Задачи дисциплины –**

1. систематизация и структурирование основных представлений в области математических моделей механики жидкости и газа;

2. освоение студентами основных аналитических и численных методов решения задач гидродинамики, представление о нелинейных проблемах механики;

3. выработка у студентов навыков самостоятельной работы с современными пакетами прикладных программ в области решения задач механики жидкости и теплообмена, интерпретации результатов исследования.

Для успешного изучения дисциплины «Вычислительная гидродинамика» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- владение навыками работы с различными источниками информации: книгами, учебниками, справочниками, Интернет;
- решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям;
- выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

владение навыками работы с вычислительной техникой

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общекультурные и профессиональные компетенции.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования процессе профессиональной деятельности	Знает	основы применения физико-математического аппарата для создания математической модели изучаемого процесса, систем компьютерного моделирования и экспериментального исследования
	Умеет	применять физико-математический аппарат механики сплошных сред, механики деформируемого твердого тела для создания математической модели изучаемого процесса, системы компьютерного моделирования и экспериментального исследования для решения задач прикладной механики
	Владеет	навыками применения физико-математического аппарата механики сплошных сред, механики деформируемого твердого тела для адекватного математического моделирования изучаемого процесса, современных систем конечно-элементного анализа и экспериментального

		исследования для эффективного решения задач прикладной механики
ПК-8 способностью самостоятельно овладевать современными вычислительными методами и пакетами прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена, создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности	Знает	требования контроля качества материалов, элементов и узлов машин и установок, механических систем различного назначения
	Умеет	применять вычислительные методы и пакеты прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена
	Владеет	навыками создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности на основе пакетов прикладных программ
ПК-9 способностью самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	Знает	основы современных методов и средств проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов
	Умеет	применять на практике современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов
	Владеет	современными методами экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Вычислительная гидродинамика» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: «групповая консультация»

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Лекционные занятия (36 часов)**

#### **Раздел I. Динамика вязкой жидкости (12 час.)**

##### **Тема 1. Уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости (4 час.)**

Уравнение движения вязкой жидкости. Частные случаи интегрирования уравнений движения. Диссипация механической энергии. Диссипативная функция. Диффузия завихренности.

##### **Тема 2. Турбулентные течения (4 час.)**

Неустойчивость движения вязкой жидкости. Ламинарные и турбулентные течения. Отрывные течения.

##### **Тема 3. Осредненные уравнения динамики вязкой жидкости (4 час.)**

Временной метод Рейнольдса осреднения параметров потока. Уравнение Навье-Стокса в форме Рейнольдса. Тензор напряжений и явление переноса при турбулентном течении.

#### **Раздел II. Моделирование турбулентности (12 час.)**

##### **Тема 1. Модели нулевого порядка (6 час.)**

Модели нулевого порядка (пути перемешивания). Приближения Буссинеска. Модель Колмогорова – Прандтля. Модели кинетической энергии и скорости диссипации. Замыкание уравнений движения с помощью моделей второго и высшего порядков.

##### **Тема 2. Нелинейные модели (6 час.)**

Нелинейные модели турбулентной вязкости.

«Пристенная» турбулентность. Логарифмический профиль скоростей.  
«Свободная» турбулентность. Затопленные струи. Дальний след.

### **Раздел III. Теория пограничного слоя (12 час.)**

#### **Тема 1. Уравнения пограничного слоя (6 час.)**

Понятие пограничного слоя. Уравнение Прандтля. Точные решения для ламинарного пограничного слоя. Интегральное соотношение Кармана. Автомодельные решения.

Пограничный слой на проницаемой и перфорированной поверхностях и при струйной подаче и отсосе вещества. Пограничный слой при наличии градиента давления и массовых сил. Влияние массовых сил на турбулентный обмен.

#### **Тема 2. Метод расчета турбулентного пограничного слоя (6 час.)**

Аналогия Рейнольдса. Метод Кутателадзе-Леонтьева расчёта турбулентного пограничного слоя.

Предельные относительные законы трения для пограничного слоя при различных воздействиях. Определение точки отрыва.

Пространственный пограничный слой. Взаимодействие скачка уплотнения с пограничным слоем.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Практические занятия (36 часов)**

#### **Раздел I. Динамика вязкой жидкости**

##### **Занятие 1. Течение Пуазейля (4 час.)**

**Занятие 2. Условия неустойчивости произвольного адиабатического движения (4 час.)**

1. Вывод дисперсионного соотношения.
2. Условие устойчивости.

3. Свойства дисперсионного уравнения.

## **Раздел II. Моделирование турбулентности**

### **Занятие 3. Методы изучения турбулентных течений (4 час.)**

1. Осреднения по Рейнольдсу.
2. Осреднения по Фавру.

### **Занятие 4. Уравнение баланса для плотности кинетической энергии турбулентности (4 час.)**

#### **Занятие 5. Свойства модели турбулентного перемешивания (4час.)**

1. Автомодельные уравнения.
2. Модель Беленького-Фрадкина.

### **Занятие 6. Модель турбулентного перемешивания, основанная на уравнении баланса для кинетической энергии турбулентности (4 час.)**

1. Уравнение  $k$ - $\varepsilon$  – модели в приближении несжимаемости.
2. Приближение кусочно-постоянного коэффициента диффузии.

## **Раздел III. Теория пограничного слоя**

### **Занятие 7. Пограничный слой при наличии градиента давления и массовых сил. (4 час.)**

1. Влияние массовых сил на турбулентный обмен.
2. Метод Кутателадзе -Леонтьева расчёта турбулентного пограничного слоя.

#### **Занятие 8. Турбулентный пограничный слой (4 час.)**

1. Предельные относительные законы трения для пограничного слоя при различных воздействиях.
2. Определение точки отрыва.
3. Закон сопротивления трению Прандтля для турбулентного течения.

#### **Занятие 9. Турбулентный пограничный слой (4 час.)**

1. Пространственный пограничный слой.

Взаимодействие скачка уплотнения с пограничным слоем.

**Самостоятельная работа (108 часа)**



### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине:

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-5 неделя семестра	Выполнение индивидуального задания по разделам занятий 1-2.	15 часов	ПР-12
2	5-10 неделя семестра	Подготовка к устному опросу по разделам занятий 1-2.	6 часов	УО-1
3	10-15 неделя семестра	Выполнение индивидуального задания по разделам занятий 2-3. Выполнение курсовой работы	20 часов	ПР-12
4	15-18 неделя семестра	Подготовка к устному опросу по разделам занятий 2-3. Выполнение курсовой работы	6 часов	УО-1
5	10-18 неделя семестра	Выполнение курсовой работы	25 часов	ПР-9
6	Экз. сессия	Подготовка к экзамену	36 час.	экзамен
<b>Итого</b>			<b>108 час.</b>	

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

#### Устные опросы

Устные опросы осуществляются преподавателем по завершению изучения раздела дисциплины. Вопросы и задания приведены в фонде оценочных средств. Для подготовки используется основная и дополнительная литература по дисциплине «Вычислительная гидродинамика». Вопросы, возникающие в процессе подготовки, студент может задать преподавателю на консультациях.

#### Разноуровневые ИДЗ

При организации самостоятельной работы преподаватель должен учитывать уровень подготовки каждого студента и предвидеть трудности, которые могут возникнуть при выполнении самостоятельной работы. Преподаватель дает каждому студенту индивидуальные и дифференцированные задания. Некоторые из них могут осуществляться в группе. Выдача заданий производится в зависимости от проходимой тематики курса и определяется преподавателем.

### **Методические указания по курсовой работе.**

Курсовая работа по дисциплине «Вычислительная гидродинамика» проводится с целью обобщить знание теоретических основ механики жидкости и закрепить навыки практического применения численных методов расчетов и моделирования к решению задач. При этом рассматриваются расчетные методы, позволяющие построить эпюры скоростей и касательных напряжений в сечении потока, диаграммы распределения давления вдоль продольной оси канала, также определить интегральные характеристики ламинарного потока.

Использование современных вычислительных средств позволяет существенно облегчить процесс вычислений и интерпретации результатов.

В результате выполнения курсовой работы студент должен в достаточной степени овладеть современными методами решения задач механики жидкости, методами расчета локальных и интегральных характеристик потока. Выполнение курсовой работы направлено на формирование у обучаемых навыков самостоятельной научно-исследовательской и практической работы, грамотного оформления полученных результатов, умения представить результаты своей работы в виде пояснительной записки и защитить их в последующей дискуссии.

Целью курсовой работы по дисциплине «Вычислительная гидродинамика» является:

дальнейшее развитие и закрепление знаний, полученных на лекционных и практических занятиях в области методов решения задач механики жидкости;

совершенствование навыков расчета плоских ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости;

развитие профессиональных навыков работы с современными вычислительными средствами.

Курсовая работа является составной частью учебной дисциплины «Вычислительная гидродинамика» и предназначен для практического закрепления и расширения полученных теоретических знаний. Целью курсовой работы является приобретение студентом навыков по расчету плоских ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости.

Задачей курсовой работы является формирование у студентов навыков:

- постановки о описания задачи;
- построения расчетной схемы;
- определения локальных и интегральных характеристик потока;
- представления результатов проекта.

### **Основные требования к выполнению курсовой работы**

Каждый студент выполняет индивидуальное задание, список типовых заданий на курсовую работу приведен. Каждый студент обязан посетить не менее 5 консультаций по вопросам выполнения курсовой работы, предъявляя на предварительный просмотр преподавателю отдельные результаты расчетов или проект пояснительной записки. По результатам курсовой работы студентом, в соответствии с требованиями ДВФУ, оформляется пояснительная записка и сдается преподавателю на проверку. Если все недочёты, выявленные при консультациях, устранены, студент защищает курсовую работу, по результатам защиты выставляется итоговая оценка. Если пояснительная записка не удовлетворяет поставленным требованиям, то она возвращается студенту на доработку.

При выполнении курсовой работы студент обязан посетить консультации и зачет у руководителя, как минимум, следующие этапы работы по расчету плоских ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости:

1. Описание математической модели с входными и выходными данными решаемой задачи, её особенности;
2. Выполнение расчетов и построение эпюры скоростей и касательных напряжений в сечении потока.
3. Выполнение расчетов и построение диаграммы распределения давления вдоль продольной оси канала.
4. Определение следующих интегральных параметров:
  - а) расход жидкости  $Q$ ;
  - б) силу гидравлического трения  $R_{\tau 0}$ ;
  - в) среднюю скорость  $W_{\text{ср}}$ ;
  - г) количество движения  $K$  (изменение количества движения  $\Delta K = K_1 - K_2$ );
  - е) полный импульс  $\Phi$  (изменение полного импульса  $\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ ).;
5. Получение количественных результатов и их визуализация. Численный расчет выполнен с помощью программы MatLab или Maple.

#### **Содержание пояснительной записки**

Пояснительная записка оформляется на листах формата А4 в соответствии с требованиями ЕСКД. Содержание курсовой работы по расчету плоских ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости должно включать:

Титульный лист.

Введение.

Глава 1. Решение задачи ламинарного режима течения жидкости.

Глава 2. Расчет и построение эпюры скоростей и касательных напряжений в сечении потока, расчет и построение диаграммы распределения давления вдоль продольной оси канала.

Глава 3. Определение интегральных параметров потока.

Заключение.

Приложение. Программный код.

Список литературы.

Титульный лист должен содержать название темы курсовой работы, указание фамилии и инициалов, номер группы студента.

Качество защиты студентом проекта оценивается по качеству презентации или раздаточных материалов, подачи материала на докладе и ответам на вопросы по содержанию проекта.

### **Индивидуальные задания на курсовую работу по дисциплине «Вычислительная гидродинамика»**

1. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости. Дифференциальные уравнения ползущего движения. Обтекание шара.
2. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости. Течение в канале и течение Куэтта.
3. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости. Течение Хагена—Пуазейля в трубе.
4. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости. Течение между двумя коаксиальными вращающимися цилиндрами.
5. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости. Плоская стенка, внезапно приведенная в движение
6. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости (первая задача Стокса).
7. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости. Плоское течение вблизи критической точки.

8. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости. Пространственное течение в окрестности критической точки.
9. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости. Уравнения Навье —Стокса как уравнение переноса вихрей.
10. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости. Дифференциальные уравнения ползущего движения. Обтекание шара.
11. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости. Гидродинамическая теория смазки.

### **Примерные варианты ИДЗ.**

#### **ИДЗ 1. Исследование задач ламинарного течения вязкой жидкости.**

##### **Расчет течения Куэтта в зазоре**

Течением Куэтта называется плоское стационарное течение вязкой несжимаемой жидкости между двумя бесконечными пластинами, одна из которых неподвижна, а другая движется с постоянной скоростью. При этом расстояние между пластинами остается постоянным, а внешние силы отсутствуют.

По условию задачи одна из стенок неподвижна, а другая движется с постоянной скоростью  $W_0$ , градиент давлений отсутствует. Тогда из уравнения Навье-Стокса следует:

$$\frac{d^2W}{dy^2} = 0$$

Точное решение уравнения (5) с учетом граничных условий имеет вид:

$$W = \frac{W_0 y}{h} + \frac{W_0}{2},$$

где ось  $OY$  направлена перпендикулярно течению, начало координат находится на равном удалении от границ. Касательные напряжения в поперечном сечении жидкости постоянны по высоте зазора:

$$\tau = \mu \frac{dW}{dy}, \tau = \mu \frac{W_0}{h}.$$

Сила трения:

$$R_{\tau 0} = 2\tau_0 F_{\sigma},$$

где  $F_{\sigma} = L_0 B$ . Тогда:

$$R_{\tau 0} = 2\mu \frac{W_0}{h} L_0 B.$$

Расход и количество движения:

$$Q = 2B \int_0^h W^2 dy, \quad K = \rho Q.$$

Полный импульс:  $\Phi = K$ .

## ИДЗ 2. Построение эюр скоростей и касательных напряжений в сечении потока

Расчет и построение эюр касательных напряжений и скоростей в сечении потока проводим в программе MatLab. Код расчета параметров для построения эюр приведен ниже. Сами эюры представлены на рисунках 3, 4.

Исходные данные для расчета течения Куэтта приведены в таблице 2.

№ варианта	Параметры					
	$W_0, \frac{м}{с}$	$\rho, \frac{кг}{м^3}$	$\nu, \frac{м^2}{с}$	$h, м$	$B, м$	$L_0, м$
1	1,02	860	$4 \cdot 10^{-6}$	0,010	0,500	0,800

Таблица 1. Исходные данные для расчета течения Куэтта.

```
clear all;
clc;
set(0, 'DefaultAxesFontSize', 14, 'DefaultAxesFontName', 'Times New Roman');

%Записываем исходные данные для расчета течения Пуазейля
W0 = 1.02;           %скорость
rho = 860;           %плотность
nu = 4*10^(-6);     %коэффициент кинематической вязкости
```

```

h = 0.010;           %высота
B = 0.500;          %ширина
L0 = 0.8;           %длина

%коэффициент динамической вязкости
mu = rho * nu;

% Строим эпюру скоростей в сечении потока
y = linspace(-h/2, h/2, 80);
g = length(y);
for i = 1:length(y)
    W(i) = (W0*y(i)/h) + (W0/2);
end

plot(W,y);
grid on;
title('Эпюра скоростей в сечении потока');
xlabel('W, м^2/с');
ylabel('y, м');

% Строим эпюру касательных напряжений в сечении
потока
for i = 1:length(y)
    tau(i) = (mu * W0)/h;
end

plot(tau,y);
grid on;
title('Эпюра касательных напряжений в сечении
потока');
xlabel('tau, Н/м^2');
ylabel('y, м');

```



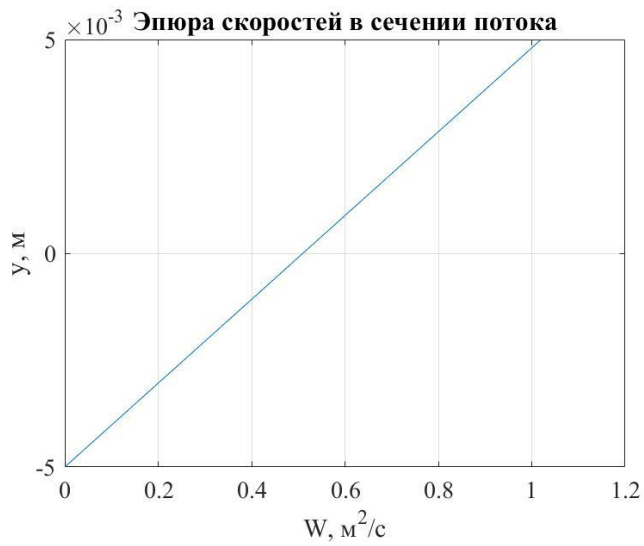


Рисунок 1. Эюра скоростей для течения Куэтта в зазоре.

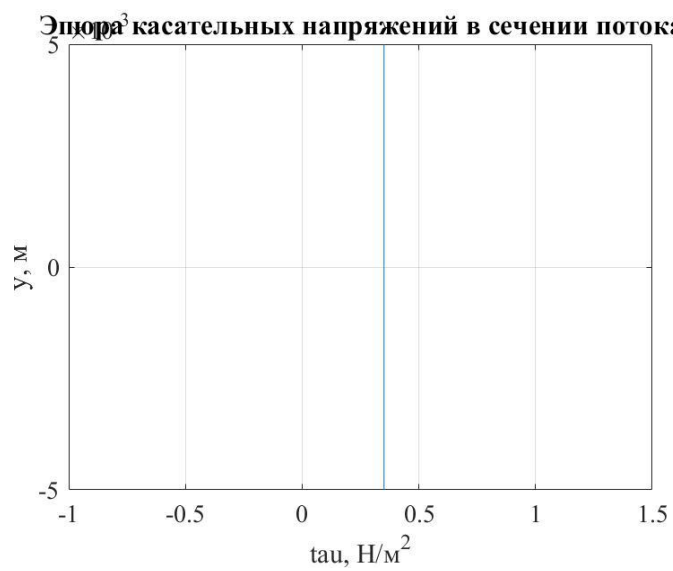


Рисунок 2. Эюра касательных напряжений для течения Куэтта в зазоре.

### ИДЗ 3. Определение интегральных параметров потока

%Определение интегральных параметров потока:

%Сила трения:

```
Rtau0 = 2 * mu * (W0/h) * L0 * B;
```

%Расход жидкости Q:

```
A = (W0/h);
```

```
C = (W0/2);
```

```
a=-h/2;
```

```
b=h/2;
```

```
Q = quad('2*0.5*(102*x+0.51)', a, b, 1e-5);
```

%Количество движения:

```
K = rho * Q;
```

%Полный импульс:

```
P = K;
```

Результаты вычислений представлены на рисунке .

Name ^	Value
a	-0.0050
A	102
b	0.0050
B	0.5000
C	0.5100
g	80
h	0.0100
i	80
K	4.3860
L0	0.8000
mu	0.0034
nu	4.0000e-06
P	4.3860
Q	0.0051
rho	860
Rtau0	0.2807
tau	1x80 double
W	1x80 double
W0	1.0200
y	1x80 double

Рисунок 3. Вычисленные значения интегральных параметров для течения Куэтта в зазоре.

#### Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов включает индивидуальные задания, выполнение курсовой работы и подготовку к устным опросам.

Тестирование не предусмотрено.

Критерии оценки самостоятельной работы приведены в фондах оценочных средств.

#### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п / п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Динамика вязкой жидкости	ПК-2,	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 1-8
			умеет	Индивидуальное домашнее задание (ПР-11)	Задачи тип I
			владеет	Курсовая работа ч.1 (ПР-5)	защита
2	Моделирование турбулентности	ПК-8	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 9-16
			умеет	Индивидуальное домашнее задание( ПР-11)	Задачи тип I
			владеет	Курсовая работа ч.2 (ПР-5)	защита
3	Теория пограничного слоя	ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 17-26
			умеет	Индивидуальное домашнее задание (ПР-11)	Задачи тип I
			владеет	Курсовая работа ч.3 (ПР-5)	защита

#### V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### Основная литература

1. Амосова Е.В. Вычислительная гидродинамика: учебное пособие для вузов// Амосова Е.В. Дальневосточный федеральный университет. - Владивосток : Изд. дом Дальневосточного федерального университета, 2013.- 124 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:688651&theme=FEFU>

2. Гиргидов А.Г. Вычислительная гидродинамика (гидравлика): Учебник / А.Д. Гиргидов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 704 с.

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=443613>

3. Шиляев М.И. Аэродинамика и тепломассообмен газодисперсных потоков: Учебное пособие/М.И.Шиляев - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 288 с.

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=486371>

4. Семенов, В. П. Основы механики жидкости [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. П. Семенов. – М. : ФЛИНТА, 2013. – 375 с.

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=462982>

#### **Дополнительная литература**

1. Андрижиевский А.А. Вычислительная гидродинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.А. Андрижиевский. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2014. — 207 с.

<http://www.iprbookshop.ru/35498.html>

2. Новикова, А. М. Вычислительная гидродинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. М. Новикова, А. В. Кудрявцев, И. И. Иваненко. — Электрон. текстовые данные. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014.

— 140 с. — 978-5-9227-0538-7. <http://www.iprbookshop.ru/58534.html>

3. Шабловский, А. С. Выполнение домашних заданий и курсовых работ по дисциплине «Вычислительная гидродинамика». Часть 2. Гидродинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. С. Шабловский. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2012. — 68 с. — 2227-8397.

<http://www.iprbookshop.ru/30870.html>

#### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используется следующее программное обеспечение и информационно-справочные системы:

1. Microsoft Office (Access, Excel, PowerPoint, Word и т. д).
2. Программное обеспечение электронного ресурса сайта ДВФУ, включая ЭБС ДВФУ.

<http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека.

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

На изучение дисциплины отводится 72 часа аудиторных занятий и 108 часа самостоятельной работы, выполнение курсовой работы.

На лекционных и практических занятиях преподаватель объясняет материал, предлагает задания, контролирует работу студентов, отвечает на возникающие вопросы, подсказывает ход и метод решения.

### **Методические указания по курсовой работе.**

Курсовая работа по дисциплине «Вычислительная гидродинамика» проводится с целью обобщить знание теоретических основ механики жидкости и закрепить навыки практического применения численных методов расчетов и моделирования к решению задач. При этом рассматриваются расчетные методы, позволяющие построить эпюры скоростей и касательных напряжений в сечении потока, диаграммы распределения давления вдоль продольной оси канала, также определить интегральные характеристики ламинарного потока.

Использование современных вычислительных средств позволяет существенно облегчить процесс вычислений и интерпретации результатов.

В результате выполнения курсовой работы студент должен в достаточной степени овладеть современными методами решения задач механики жидкости, методами расчета локальных и интегральных характеристик потока. Выполнение курсовой работы направлено на

формирование у обучаемых навыков самостоятельной научно-исследовательской и практической работы, грамотного оформления полученных результатов, умения представить результаты своей работы в виде пояснительной записки и защитить их в последующей дискуссии.

Целью курсовой работы по дисциплине «Вычислительная гидродинамика» является:

дальнейшее развитие и закрепление знаний, полученных на лекционных и практических занятиях в области методов решения задач механики жидкости;

совершенствование навыков расчета плоских ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости;

развитие профессиональных навыков работы с современными вычислительными средствами.

Курсовая работа является составной частью учебной дисциплины «Вычислительная гидродинамика» и предназначен для практического закрепления и расширения полученных теоретических знаний. Целью курсовой работы является приобретение студентом навыков по расчету плоских ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости.

Задачей курсовой работы является формирование у студентов навыков:

- постановки о описания задачи;
- построения расчетной схемы;
- определения локальных и интегральных характеристик потока;
- представления результатов проекта.

### **Основные требования к выполнению курсовой работы**

Каждый студент выполняет индивидуальное задание, список типовых заданий на курсовую работу приведен. Каждый студент обязан посетить не менее 5 консультаций по вопросам выполнения курсовой работы, предъявляя на предварительный просмотр преподавателю отдельные результаты расчетов или проект пояснительной записки. По результатам курсовой

работы студентом, в соответствии с требованиями ДВФУ, оформляется пояснительная записка и сдается преподавателю на проверку. Если все недочёты, выявленные при консультациях, устранены, студент защищает курсовую работу, по результатам защиты выставляется итоговая оценка. Если пояснительная записка не удовлетворяет поставленным требованиям, то она возвращается студенту на доработку.

При выполнении курсовой работы студент обязан посетить консультации и зачет у руководителя, как минимум, следующие этапы работы по расчету плоских ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости:

6. Описание математической модели с входными и выходными данными решаемой задачи, её особенности;
7. Выполнение расчетов и построение эпюры скоростей и касательных напряжений в сечении потока.
8. Выполнение расчетов и построение диаграммы распределения давления вдоль продольной оси канала.
9. Определение следующих интегральных параметров:
  - f) расход жидкости  $Q$ ;
  - g) силу гидравлического трения  $R_{\tau 0}$ ;
  - h) среднюю скорость  $W_{\text{ср}}$ ;
  - i) количество движения  $K$  (изменение количества движения  $\Delta K = K_1 - K_2$ );
  - j) полный импульс  $\Phi$  (изменение полного импульса  $\Delta \Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ );
10. Получение количественных результатов и их визуализация. Численный расчет выполнен с помощью программы MatLab или Maple.

#### **Содержание пояснительной записки**

Пояснительная записка оформляется на листах формата А4 в соответствии с требованиями ЕСКД. Содержание курсовой работы по

расчету плоских ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости должно включать:

Титульный лист.

Введение.

Глава 1. Решение задачи ламинарного режима течения жидкости.

Глава 2. Расчет и построение эпюры скоростей и касательных напряжений в сечении потока, расчет и построение диаграммы распределения давления вдоль продольной оси канала.

Глава 3. Определение интегральных параметров потока.

Заключение.

Приложение. Программный код.

Список литературы.

Титульный лист должен содержать название темы курсовой работы, указание фамилии и инициалов, номер группы студента.

**Рекомендации по работе с литературой.** Теоретический и практический материал курса разъяснён в материалах учебно-методического комплекса, предлагаемого преподавателем на занятиях, также в учебниках и учебных пособиях из списка основной и дополнительной литературы.

**Рекомендации по подготовке к экзамену.** Успешная подготовка к экзамену включает работу на практических и лабораторных занятиях в течение семестра, выполнение и успешная защита курсовой работы у преподавателя. При подготовке к экзамену необходимо освоить теорию: разобрать основные темы, постановки задач и используемые методы. К экзамену допускается студент, защитивший курсовой проект.

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Оборудование, размещенное в аудиториях для проведения лекционных и практических занятий по дисциплине:



Моноблоки Lenovo C360G-i34164G500UDK – 20 шт;

Мультимедийный проектор, Mitsubishi EW330U, 3000 ANSI Lumen, 1280x800 – 1 шт;

Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, 50 см, размер рабочей области 236x147 см – 1 шт;

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем, Extron SI 3CT LP (пара) – 3 шт;

Документ-камера Avervision CP355AF – 1 шт;

ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716CCBA – 1 шт;

Сетевая видеочка Multipix MP-HD718 – 1 шт.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

## VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### ПАСПОРТ ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-2 способностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	Знает	основы применения физико-математического аппарата для создания математической модели изучаемого процесса, систем компьютерного моделирования и экспериментального исследования
	Умеет	применять физико-математический аппарат механики сплошных сред, механики деформируемого твердого тела для создания математической модели изучаемого процесса, системы компьютерного моделирования и экспериментального исследования для решения задач прикладной механики
	Владеет	навыками применения физико-математического аппарата механики сплошных сред, механики

		деформируемого твердого тела для адекватного математического моделирования изучаемого процесса, современных систем конечно-элементного анализа и экспериментального исследования для эффективного решения задач прикладной механики
ПК-8 способностью самостоятельно овладевать современными вычислительными методами и пакетами прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена, создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности	Знает	требования контроля качества материалов, элементов и узлов машин и установок, механических систем различного назначения
	Умеет	применять вычислительные методы и пакеты прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена
	Владеет	навыками создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности
ПК-9 способностью самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	Знает	основы современных методов и средств проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов
	Умеет	применять на практике современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов
	Владеет	современными методами экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов

## Контроль достижений целей курса

№ п / п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Динамика вязкой жидкости	ПК-2,	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 1-8
			умеет	Индивидуальное домашнее задание (ПР-11)	Задачи тип I
			владеет	Курсовая работа ч.1 (ПР-5)	защита
2	Моделирование турбулентности	ПК-8	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 9-16
			умеет	Индивидуальное домашнее задание( ПР-11)	Задачи тип I
			владеет	Курсовая работа ч.2 (ПР-5)	защита
3	Теория пограничного слоя	ПК-9	знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы 17-26
			умеет	Индивидуальное домашнее задание (ПР-11)	Задачи тип I
			владеет	Курсовая работа ч.3 (ПР-5)	защита

## Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-2 способность применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	знает (пороговый уровень)	основы применения физико-математического аппарата для создания математической модели изучаемого процесса, систем компьютерного моделирования и экспериментального исследования	- знание определений основных понятий и методов механики жидкости и газа; - знание методов математического моделирования задач механики жидкости и газа; - знание расчетных методов по определению характеристик потоков в задачах механики жидкости и газа	- способность дать определения основных понятий и методов механики жидкости и газа ; - способность перечислить и раскрыть суть методов математического моделирования задач механики жидкости и газа , которые изучил и освоил обучающийся; - способность перечислить и раскрыть содержание этапов расчетов характеристик потоков в задачах механики жидкости и газа
	умеет (продвинутый)	применять физико-математический аппарат механики сплошных сред, механики деформируемого твердого тела для создания математической модели изучаемого процесса, системы компьютерного моделирования и экспериментального исследования для решения задач прикладной механики	- умение применять основные методы математического моделирования задач механики жидкости и газа; - знания основных расчетных методов по определению характеристик потоков в задачах механики жидкости и газа	- способность применять методы математического моделирования к решению задач механики жидкости и газа; - знания расчетных методов по определению характеристик потоков в задачах механики жидкости и газа;
	владеет (высокий)	навыками применения физико-математического аппарата механики сплошных сред, механики деформируемого	- владение умением - применять методы математического моделирования и исчерпывающе обосновывать выбор соответствующих математических моделей при решении	- способность применять методы математического моделирования и исчерпывающе обосновывать выбор соответствующих математических моделей при решении задач механики жидкости и газа;

		твердого тела для адекватного математического моделирования изучаемого процесса, современных систем конечно-элементного анализа и экспериментального исследования для эффективного решения задач прикладной механики	задач механики жидкости и газа; - применять знания расчетных методов и методов конечно-элементного анализа по определению характеристик потоков в задачах механики жидкости и газа	- применять знания расчетных методов и методов конечно-элементного анализа по определению характеристик потоков в задачах механики жидкости и газа
ПК-8 способность самостоятельно овладеть современными вычислительными методами и пакетами прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена, создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности	знает (пороговый уровень)	Основные вычислительные методы и пакеты программ, используемые для решения задач вычислительной гидродинамики	- знание основных пакетов программ, используемых для решения задач вычислительной гидродинамики; - знание основных вычислительных методов, применяемых в этих пакетах для численного моделирования	- способность - перечислить основные пакеты программ, используемые для решения задач вычислительной гидродинамики; - сформулировать основные вычислительные методы, применяемые в этих пакетах для численного моделирования гидродинамики и сопряженных задач;
	умеет (продвинутый)	применять вычислительные методы и пакеты прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена	- умение - применять изученные пакеты программ для решения задач вычислительной гидродинамики; - дать анализ полученного решения, погрешности и сходимости на основе знания вычислительных методов, применяемых для численного моделирования	- способность - применять изученные пакеты программ для решения задач вычислительной гидродинамики; - дать анализ полученного решения, погрешности и сходимости на основе знания вычислительных методов, применяемых для численного моделирования гидродинамики и сопряженных задач
	владеет (высокий)	навыками создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло-и массопереноса в произвольных трехмерных	- владение - умением применять изученные пакеты программ для решения задач вычислительной гидродинамики; - умением проводить анализ полученного решения, погрешности и сходимости на основе знания вычислительных методов, применяемых для численного моделирования;	- способность - применять изученные пакеты программ для решения широкого круга задач вычислительной гидродинамики; - проводить анализ полученного решения, погрешности и сходимости на основе знания вычислительных методов, применяемых для численного моделирования задач гидродинамики и

		областях различной сложности на основе пакетов прикладных программ		сопряженных с ними задач тепло-массообмена;
ПК-9 способность самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	знает (пороговый уровень)	основы современных методов и средств проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов	- знание основных современных методов и средств проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - знание основных методов вычислительного эксперимента и компьютерного моделирования	- способность перечислить основные современные методы и средства проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - сформулировать основы методов вычислительного эксперимента и компьютерного моделирования;
	умеет (продвинутый)	применять на практике современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов	- умение обосновать выбор основных современных методов и средств проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - умение применить знание основных методов вычислительного эксперимента и компьютерного моделирования для целей оптимизации натуральных экспериментов;	- способность обосновать выбор основных современных методов и средств проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - способность применить знание основных методов вычислительного эксперимента и компьютерного моделирования для целей оптимизации натуральных экспериментов;
	владеет (высокий)	современными методами экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки,	- владение знаниями, позволяющими самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - владение умением	- способность самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований в области механики жидкости и теплообмена в сложных технических системах; - способность применить знание основных методов вычислительного эксперимента для

		анализа и обобщения результатов экспериментов	применить знание основных методов вычислительного эксперимента и компьютерного моделирования для целей оптимизации натуральных экспериментов;	адекватного компьютерного моделирования натуральных экспериментов;
--	--	---	---	--

**Методические материалы, определяющие процедуры оценивания  
результатов освоения дисциплины**

**Оценочные средства для текущей аттестации**

**Вопросы для устного опроса**

**Раздел I. Динамика вязкой жидкости**

1. Уравнение движения вязкой жидкости. Частные случаи интегрирования уравнений движения.
2. Диссипация механической энергии. Диссипативная функция. Диффузия завихренности.
3. Турбулентные течения
4. Неустойчивость движения вязкой жидкости. Ламинарные и турбулентные течения. Отрывные течения.
5. Осредненные уравнения динамики вязкой жидкости
6. Временной метод Рейнольдса осреднения параметров потока.
7. Уравнение Навье-Стокса в форме Рейнольдса.
8. Тензор напряжений и явление переноса при турбулентном течении.

**Раздел II. Моделирование турбулентности**

9. Модели нулевого порядка (пути перемешивания).
10. Приближения Буссинеска. Модель Колмогорова – Прандтля.
11. Модели кинетической энергии и скорости диссипации.
12. Замыкание уравнений движения с помощью моделей второго и высшего порядков.

13. Нелинейные модели турбулентной вязкости.
14. «Пристенная» турбулентность.
15. Логарифмический профиль скоростей.
16. «Свободная» турбулентность.
17. Затопленные струи. Дальний след.

### **Раздел III. Теория пограничного слоя**

18. Понятие пограничного слоя. Уравнение Прандтля.
  19. Точные решения для ламинарного пограничного слоя.
  20. Интегральное соотношение Кармана. Автомодельные решения.
  21. Пограничный слой на проницаемой и перфорированной поверхностях и при струйной подаче и отсосе вещества.
  22. Пограничный слой при наличии градиента давления и массовых сил. Влияние массовых сил на турбулентный обмен.
  23. Метод расчета турбулентного пограничного слоя
  24. Аналогия Рейнольдса. Метод Кутателадзе-Леонтьева расчёта турбулентного пограничного слоя.
  25. Предельные относительные законы трения для пограничного слоя при различных воздействиях. Определение точки отрыва.
- Пространственный пограничный слой. Взаимодействие скачка уплотнения с пограничным слоем.

### **Критерии оценки устного опроса:**

✓ 100-85 баллов - если ответ показывает прочные знания основных положений изучаемого раздела механики, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение



монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

✓ 85-76 - баллов - ответ, обнаруживающий прочные знания основных положений изучаемого раздела механики, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 - балл - оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании основных положений изучаемого раздела механики, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

✓ 60-50 баллов - ответ, обнаруживающий незнание основных положений изучаемого раздела механики, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, сформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

#### **Перечень типовых экзаменационных вопросов (по разделам для УО)**

##### **Раздел I. Динамика вязкой жидкости**

26. Уравнение движения вязкой жидкости. Частные случаи интегрирования уравнений движения.

27. Диссипация механической энергии. Диссипативная функция. Диффузия завихренности.

28. Турбулентные течения

29. Неустойчивость движения вязкой жидкости. Ламинарные и турбулентные течения. Отрывные течения.

30. Осредненные уравнения динамики вязкой жидкости

31. Временной метод Рейнольдса осреднения параметров потока.

32. Уравнение Навье-Стокса в форме Рейнольдса.

33. Тензор напряжений и явление переноса при турбулентном течении.

## **Раздел II. Моделирование турбулентности**

34. Модели нулевого порядка (пути перемешивания).

35. Приближения Буссинеска. Модель Колмогорова – Прандтля.

36. Модели кинетической энергии и скорости диссипации.

37. Замыкание уравнений движения с помощью моделей второго и высшего порядков.

38. Нелинейные модели турбулентной вязкости.

39. «Пристенная» турбулентность.

40. Логарифмический профиль скоростей.

41. «Свободная» турбулентность.

42. Затопленные струи. Дальний след.

## **Раздел III. Теория пограничного слоя**

43. Понятие пограничного слоя. Уравнение Прандтля.

44. Точные решения для ламинарного пограничного слоя.

45. Интегральное соотношение Кармана. Автомодельные решения.

46. Пограничный слой на проницаемой и перфорированной поверхностях и при струйной подаче и отсосе вещества.

47. Пограничный слой при наличии градиента давления и массовых сил. Влияние массовых сил на турбулентный обмен.

48. Метод расчета турбулентного пограничного слоя

49. Аналогия Рейнольдса. Метод Кутателадзе-Леонтьева расчёта турбулентного пограничного слоя.

50. Предельные относительные законы трения для пограничного слоя при различных воздействиях. Определение точки отрыва.

51. Пространственный пограничный слой. Взаимодействие скачка уплотнения с пограничным слоем.

### **Перечень типовых экзаменационных задач**

На экзамен выносятся два вида задач, соответствующие второму и третьему уровню овладения компетенциями, формируемыми дисциплиной. Типовые задачи представлены ниже, при этом на экзамене возможно видоизменение входных условий задачи.

#### **Типовые задачи (тип I)**

**Задание.** Для течения Куэтта - плоское стационарное течение вязкой несжимаемой жидкости между двумя бесконечными пластинами, одна из которых неподвижна, а другая движется с постоянной скоростью, записать уравнение движения. Построить профиль скорости. определить касательные напряжения.

**Решение:** По условию задачи одна из стенок неподвижна, а другая движется с постоянной скоростью  $W_0$ , градиент давлений отсутствует. при этом расстояние между пластинами остается постоянным, а внешние силы отсутствуют, тогда из уравнения Навье-Стокса следует:

$$\frac{d^2W}{dy^2} = 0$$

Точное решение уравнения (5) с учетом граничных условий имеет вид:

$$W = \frac{W_{0y}}{h} + \frac{W_0}{2},$$

### Типовые задачи (тип I II)

**Задание.** Для течения Куэтта определить локальные и интегральные характеристики потока, построить эпюры и графики.

По полученному полю скоростей в потоке:  $W = \frac{W_{0y}}{h} + \frac{W_0}{2},$

где ось  $OY$  направлена перпендикулярно течению, начало координат находится на равном удалении от границ. Касательные напряжения в поперечном сечении жидкости постоянны по высоте зазора:

$$\tau = \mu \frac{dW}{dy}, \tau = \mu \frac{W_0}{h}.$$

Сила трения:

$R_{\tau 0} = 2\tau_0 F_{\sigma},$  где  $F_{\sigma} = L_0 B.$  Тогда:

$$R_{\tau 0} = 2\mu \frac{W_0}{h} L_0 B.$$

Расход и количество движения:

$$Q = 2B \int_0^h W^2 dy, K = \rho Q. \quad \text{Полный импульс: } \Phi = K.$$

### Образец экзаменационного билета

1. Осредненные уравнения динамики вязкой жидкости
2. Точные решения для ламинарного пограничного слоя.
3. Задача 1.
4. Задача 2.

### Принцип составления экзаменационного билета

Первые два вопроса являются теоретическими и предназначены для оценивания порогового уровня освоения дисциплины. Третий вопрос, задача, предназначен для оценки базового уровня компетенций. Последний вопрос

для высокого уровня владения компетенциями. Таблица для составления экзаменационных билетов по фонду оценочных средств:

Номер вопроса	I семестр	II семестр
1	вопросы 1 – 9	вопросы 26 – 35
2	вопросы 10 – 25	вопросы 35 – 48
3	задачи I типа	задачи I типа
4	задачи II типа	задачи II типа

**Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине  
«Вычислительная гидродинамика»**

Баллы (рейтинговой оценки)	Оценка экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86-100	«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал по дисциплине Вычислительная гидродинамика, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает математические основы моделирования задач механики жидкости, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, свободно использует вычислительные методы и пакеты для моделирования задач, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач в области профессиональной деятельности.
76-85	«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо материал по дисциплине Вычислительная гидродинамика, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает математические основы моделирования задач механики жидкости,, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, связанных с проектированием и реализацией программ в области профессиональной деятельности, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения с использованием информационно-коммуникационных средств.
61-75	«удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала в области программирования, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ, связанным с написанием программ и применением стандартных пакетов в области

		своей профессиональной деятельности.
0-60	<i>«неудовлетворительно»</i>	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала по основам программирования, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, связанные с написанием программ и алгоритмов. Оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

### **.Оценочные средства для текущей аттестации**

#### **Критерии оценки курсовой работы:**

✓ 100-85 баллов выставляется студенту, если на защите курсовой работы он показывает прочные знания основных методов расчета характеристик ламинарного потока жидкости, умеет оценивать эффективность их применения и погрешность вычислений, демонстрирует способность к самостоятельному углублению знаний в области численного моделирования задач механики жидкости и газа.

✓ 85-76 баллов выставляется студенту, если на защите курсовой работы он показывает прочные основных методов расчета характеристик ламинарного потока жидкости, умеет оценивать эффективность их применения и погрешность вычислений, демонстрирует способность к самостоятельному углублению знаний в области численного моделирования задач механики жидкости и газа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 балл выставляется студенту, если на защите курсовой работы он показывает знания основных методов расчета характеристик ламинарного потока жидкости, умеет оценивать погрешность вычислений, но демонстрирует недостаточную полноту выполнения задания. Допускается несколько ошибок в пояснительной записке.

✓ 60-50 баллов выставляется студенту, если на защите курсовой работы он показывает знания основных методов расчета характеристик

ламинарного потока жидкости, умеет оценивать погрешность вычислений, но демонстрирует недостаточную полноту выполнения задания. Допускаются серьезные ошибки в пояснительной записке; демонстрирует неумение использовать программные средства и вычислительные пакеты.