# Комплект оценочных материалов по дисциплине «Аэрогидромеханика»

### Задания закрытого типа

#### Задания закрытого типа на выбор правильного ответа

1. Выберите один правильный ответ

Что утверждает обобщенная гипотеза Ньютона:

А) напряжения в жидкости пропорциональны скорости деформации

Б) напряжения в жидкости пропорциональны скорости

В) напряжения в жидкости пропорциональны давлению

Г) напряжения в жидкости постоянны

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

2. Выберите один правильный ответ

Какой критерий подобия характеризует отношение сил инерции к силам вязкости:

А) число Эйлера

Б) число Фруда

В) число Рейнольдса

Г) число Струхаля

Правильный ответ: В

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

3. Выберите один правильный ответ

Что такое осреднение Рейнольдса:

А) усреднение уравнений Навье-Стокса по пространству

Б) усреднение уравнений Навье-Стокса по времени В) объём, заполненный вихревыми линиями

В) усреднение уравнений Навье-Стокса по скорости

Г) усреднение уравнений Навье-Стокса по давлению

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

4. Выберите один правильный ответ

Какова основная цель использования гипотез о турбулентных напряжениях:

А) упростить уравнения Рейнольдса

Б) замкнуть уравнения Рейнольдса, выразив турбулентные напряжения через известные величины

В) увеличить точность решения уравнений Рейнольдса

Г) получить аналитическое решение уравнений Рейнольдса

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

5. Выберите один правильный ответ

Какой участок выделяют в турбулентном пограничном слое вблизи стенки:

А) турбулентное ядро

Б) внешняя часть пограничного слоя

В) ламинарный подслой (вязкий подслой)

Г) потенциальное ядро

Правильный ответ: В

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

6. Выберите один правильный ответ

Как толщина турбулентного пограничного слоя зависит от числа Рейнольдса:

А) увеличивается с увеличением числа Рейнольдса

Б) уменьшается с увеличением числа Рейнольдса

В) не зависит от числа Рейнольдса

Г) зависит сложным немонотонным образом

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

7. Выберите один правильный ответ

Что такое продольный градиент давления:

А) изменение давления по нормали к поверхности

Б) изменение давления вдоль поверхности

В) изменение давления во времени

Г) изменение давления в турбулентном потоке

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

8. Выберите один правильный ответ

Какой градиент давления называют неблагоприятным (противоположным):

А) положительный (давление возрастает по направлению течения)

Б) отрицательный (давление убывает по направлению течения)

В) равный нулю

Г) периодический

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

**Задания закрытого типа на установление соответствия**

1. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | Число Рейнольдса (Re) | А) | Отношение сил инерции к силам тяжести |
| 2) | Число Эйлера (Eu) | Б) | Отношение сил инерции к силам давления |
| 3) | Число Фруда (Fr) | В) | Отношение сил инерции к силам вязкости |
| 4) | Число Струхаля (St) | Г) | Отношение локальной скорости изменения течения к конвективной скорости |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| В | Б | А | Г |

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

2. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | Гипотеза Буссинеска | А) | Использует алгебраические соотношения для определения турбулентной вязкости |
| 2) | Модель длины перемешивания Прандтля | Б) | Использует два уравнения переноса для турбулентной кинетической энергии и скорости диссипации турбулентной энергии |
| 3) | k-ε модель | В) | Вводит понятие турбулентной вязкости и выражает турбулентные напряжения через градиенты осредненной скорости |
| 4) | Алгебраические модели турбулентности | Г) | Вводит понятие длины перемешивания и выражает турбулентные напряжения через квадрат градиента осредненной скорости |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| В | Г | Б | А |

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

3. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | Пограничный слой | А) | Расстояние, на которое необходимо сместить твердую поверхность, чтобы внешний поток испытывал такое же влияние, как и из-за наличия пограничного слоя | |
| 2) | Толщина пограничного слоя | Б) | Тонкий слой жидкости вблизи твердой поверхности, где вязкость играет существенную роль | |
| 3) | Толщина вытеснения | В) | Характеризует потерю импульса в пограничном слое из-за действия вязкости | |
| 4) | Толщина потери импульса | Г) | Расстояние от стенки, на котором скорость достигает некоторого значения, близкого к скорости внешнего потока (например, 99%) | |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Б | Г | А | В |

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

4. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | Функция тока | А) | Сумма потенциала скорости и функции тока, представленная в виде функции комплексного переменного |
| 2) | Гидродинамическая сетка | Б) | Плоский потенциальный поток, характеризующийся расхождением жидкости из одной точки |
| 3) | Комплексный потенциал | В) | Совокупность линий тока и линий равного потенциала |
| 4) | Источник | Г) | Скалярная функция, линии уровня которой совпадают с линиями тока |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Г | В | А | Б |

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

5. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | Обобщенная гипотеза Ньютона | А) | Мера сопротивления жидкости течению |
| 2) | Ньютоновская жидкость | Б) | Жидкость, в которой касательные напряжения линейно зависят от скорости сдвига |
| 3) | Вязкость | В) | Характеризует интенсивность изменения формы тела |
| 4) | Скорость деформации | Г) | Утверждает, что напряжения в жидкости пропорциональны скорости деформации |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Г | Б | А | В |

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

6. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | Благоприятный градиент давления | А) | Возникает при наличии неблагоприятного градиента давления, характеризуется обратным течением вблизи стенки |
| 2) | Неблагоприятный градиент давления | Б) | Уменьшает толщину пограничного слоя, стабилизирует течение |
| 3) | Отрыв пограничного слоя | В) | Точка на поверхности, где касательное напряжение на стенке становится равным нулю |
| 4) | Точка отрыва | Г) | Увеличивает толщину пограничного слоя, замедляет течение вблизи стенки, может приводить к отрыву |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Б | Г | А | В |

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

7. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | δ | А) | Толщина потери импульса |
| 2) | δ\* | Б) | Толщина вытеснения |
| 3) | δ\*\* | В) | Толщина пограничного слоя |
| 4) | τw | Г) | Касательное напряжение на стенке |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| В | Б | А | Г |

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

8. Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 1) | Вязкий подслой (ламинарный подслой) | А) | Область, где вязкие и турбулентные напряжения сопоставимы по величине |
| 2) | Переходная область (буферный слой) | Б) | Область, где распределение скорости описывается логарифмическим законом |
| 3) | Логарифмическая область | В) | Область, где преобладают турбулентные напряжения |
| 4) | Внешняя часть пограничного слоя | Г) | Область вблизи стенки, где преобладают вязкие напряжения |

Правильный ответ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Г | А | Б | В |

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

#### Задания закрытого типа на установление правильной последовательности

1. Установите правильную последовательность этапов развития отрыва пограничного слоя при наличии неблагоприятного градиента давления:

А) возникновение обратного течения вблизи стенки

Б) увеличение толщины пограничного слоя

В) уменьшение касательного напряжения на стенке

Г) отделение пограничного слоя от поверхности

Правильный ответ: Б, В, А, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

2. Установите правильную последовательность слоев турбулентного пограничного слоя в порядке удаления от поверхности стенки:

А) логарифмическая область

Б) вязкий подслой (ламинарный подслой)

В) переходная область (буферный слой)

Г) внешняя часть пограничного слоя

Правильный ответ: Б, В, А, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

3. Установите правильную последовательность этапов применения интегрального соотношения Кармана для решения задачи о пограничном слое:

А) выбор профиля скорости в пограничном слое

Б) подстановка профиля скорости в интегральное соотношение Кармана

В) решение полученного дифференциального уравнения относительно толщины пограничного слоя

Г) определение касательного напряжения на стенке

Правильный ответ: А, Б, В, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

4. Установите правильную последовательность этапов решения задачи турбулентного течения с использованием k-ε модели:

А) решение уравнений Рейнольдса с учетом турбулентной вязкости

Б) решение уравнений переноса для турбулентной кинетической энергии (k) и скорости диссипации (ε)

В) определение турбулентной вязкости на основе значений k и ε

Г) постановка граничных условий для k и ε

Правильный ответ: Г, Б, В, А

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

5. Установите правильную последовательность шагов вывода уравнений Рейнольдса:

А) представление мгновенных значений скорости и давления в виде суммы осредненных значений и пульсаций

Б) подстановка полученных выражений в уравнения Навье-Стокса

В) осреднение полученных уравнений по времени

Г) получение уравнений Рейнольдса

Правильный ответ: А, Б, В, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

6. Установите правильную последовательность шагов приведения уравнений Навье-Стокса к безразмерному виду:

А) выбор характерных величин (скорости, длины, давления)

Б) определение безразмерных переменных

В) подстановка безразмерных переменных в уравнения Навье-Стокса

Г) перегруппировка членов уравнения и выделение безразмерных критериев подобия

Правильный ответ: А, Б, В, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

7. Установите правильную последовательность шагов для вывода уравнений динамики вязкой жидкости в напряжениях:

А) запись закона сохранения импульса для контрольного объема

Б) выражение поверхностных сил через напряжения (вязкие и давления)

В) учет объемных сил

Г) переход к дифференциальной форме уравнения

Правильный ответ: А, Б, В, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

8. Установите правильную последовательность шагов построения гидродинамической сетки:

А) построение линий равного потенциала

Б) построение линий тока

В) расчет потенциала скорости и функции тока

Г) выбор масштаба и шага для линий тока и линий равного потенциала

Правильный ответ: Г, В, Б, А

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

### Задания открытого типа

#### Задания открытого типа на дополнение

1. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Согласно обобщенной гипотезе Ньютона, напряжения в жидкости пропорциональны \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: скорости деформации.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

2. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Жидкость, в которой касательные напряжения линейно зависят от скорости сдвига, называется \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: ньютоновской.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

3. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Турбулентное движение характеризуется хаотическими \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ скорости и давления.

Правильный ответ: пульсациями.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

4. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Осреднение Рейнольдса заключается в усреднении уравнений Навье-Стокса по \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: времени.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

5. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

В уравнениях Рейнольдса появляются дополнительные члены, учитывающие \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: турбулентные напряжения.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

6. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Отклонение мгновенной скорости от среднего значения называется \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: пульсацией скорости.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

7. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Основная цель использования гипотез о турбулентных напряжениях – \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ уравнения Рейнольдса.

Правильный ответ: замкнуть.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

8. Напишите пропущенное слово (словосочетание).

Основной причиной образования пограничного слоя является \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ жидкости.

Правильный ответ: вязкость.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

#### Задания открытого типа с кратким свободным ответом

1. Ньютоновская жидкость – это жидкость, в которой касательные напряжения линейно зависят от\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: скорости сдвига / градиента скорости**.**

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

2. Число Рейнольдса характеризует отношение сил \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: инерции к силам вязкости.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

3. Согласно гипотезе Буссинеска, турбулентные напряжения пропорциональны градиенту осредненной скорости с коэффициентом пропорциональности, называемым \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: турбулентной вязкостью / вихревой вязкостью.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

4. Толщина вытеснения характеризует влияние пограничного слоя на \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: внешний поток / ядро потока**.**

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

5. Отделение пограничного слоя от поверхности называется \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: отрывом / отрывом пограничного слоя**.**

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

6. Градиент давления, при котором давление убывает по направлению течения, называется \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: благоприятным градиентом давления / отрицательным градиентом давления**.**

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

7. Отрыв пограничного слоя возникает при наличии \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: неблагоприятного градиента давления / положительного градиента давления**.**

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

8. Изменение давления вдоль поверхности называется \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.

Правильный ответ: продольным градиентом давления**.**

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

#### Задания открытого типа с развернутым ответом

1. Уравнения Навье-Стокса в безразмерной форме:

Даны характерные масштабы: длина L, скорость U, давление p.

Требуется представить уравнения Навье-Стокса для несжимаемой ньютоновской жидкости в безразмерной форме.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Запишем уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости:

.

Запишем переменные, входящие в уравнение через безразмерные параметры, обозначая безразмерность волнистой линией сверху:

, , , , , , , , , .

Подставим в исходное уравнение полученные выражения для переменных:

.

Разделим все члены на :

.

Перепишем уравнение в критериальной форме:



Ответ: .

Критерии оценивания:

– нахождение уравнения Навье-Стокса для несжимаемой ньютоновской жидкости в безразмерной форме.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

2. Турбулентные напряжения и гипотеза Буссинеска:

Получите уравнения Рейнольдса для течения несжимаемой жидкости. Объясните, почему эти уравнения не замкнуты. Используйте гипотезу Буссинеска, чтобы выразить турбулентные напряжения через осредненные скорости.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Представим мгновенные значения скорости и давления как сумму осредненных и пульсационных составляющих:



Подставим эти выражения в уравнения Навье-Стокса и усредним по времени (или по ансамблю).

В результате усреднения получим уравнения Рейнольдса:

Уравнение неразрывности: 

Уравнения движения (например, для оси x):



Члены  представляют собой турбулентные напряжения, возникающие из-за пульсаций скорости.

Уравнения Рейнольдса не замкнуты, потому что в них появляются новые неизвестные – турбулентные напряжения. Для их определения требуется ввести дополнительные соотношения.

Согласно гипотезе Буссинеска, турбулентные напряжения пропорциональны градиенту осредненной скорости:

,

где μt - турбулентная вязкость, а  - турбулентная кинетическая энергия.

Подставляя эти выражения в уравнения Рейнольдса, можно получить замкнутую систему уравнений. Однако, теперь необходимо определить турбулентную вязкость μt, для чего используются различные модели турбулентности (например, k-ε модель).

Гипотеза Буссинеска позволяет выразить турбулентные напряжения через осредненные скорости, замыкая уравнения Рейнольдса. Однако, для определения турбулентной вязкости требуются дополнительные модели турбулентности.

Ответ: Проекция на ось х: .

Критерии оценивания:

– нахождение уравнения Рейнольдса;

– нахождение выражения для турбулентных напряжений через гипотезу Буссинеска;

– нахождение выражения уравнений Рейнольдса с записью турбулентных напряжений через гипотезу Буссинеска.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

3. Ламинарный пограничный слой на плоской пластине:

Выведите уравнения Прандтля для ламинарного пограничного слоя на плоской пластине. Объясните, какие упрощения сделаны по сравнению с уравнениями Навье-Стокса.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Запишем исходные уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости и замкнем их при помощи уравнения неразрывности:

,

где ν = μ/ρ - кинематическая вязкость.

Предположим, что толщина пограничного слоя мала: δ << L, где L - характерный размер. Поперечная скорость v мала по сравнению с продольной скоростью u. Продольные изменения скорости малы по сравнению с поперечными изменениями.

Используя эти предположения, проводим масштабный анализ членов в уравнениях Навье-Стокса. Например, если u ~ U, x ~ L, y ~ δ, то v ~ Uδ/L.

В результате масштабного анализа и отбрасывания малых членов, получим уравнения Прандтля:



 (давление постоянно по толщине пограничного слоя)

Уравнения Прандтля являются упрощением уравнений Навье-Стокса для тонкого пограничного слоя. Основные упрощения: пренебрежение продольной вязкостью  и допущение о постоянстве давления по толщине пограничного слоя.

Ответ:

.

Критерии оценивания:

– нахождение уравнений Прандтля для плоского пограничного слоя.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

4. Интегральное соотношение Кармана:

Требуется вывести интегральное соотношение Кармана для ламинарного пограничного слоя.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Запишем уравнения Прандтля:



Проинтегрируем оба уравнения по координате y от стенки (y=0) до внешней границы пограничного слоя (y=δ).



Учитывая, что  (скорость внешнего потока), получаем:







После преобразований с использованием интегрирования по частям, уравнения неразрывности и граничных условий, получим:



Обозначим касательное напряжение на стенке как 

Толщина потери импульса: 

Толщина вытеснения: 

Подставляя эти определения в полученное уравнение, получим интегральное соотношение Кармана: 

Интегральное соотношение Кармана связывает интегральные характеристики пограничного слоя (толщину потери импульса, толщину вытеснения) с касательным напряжением на стенке и градиентом давления. Оно является приближенным, но полезным инструментом для анализа пограничного слоя.

Ответ: 

Критерии оценивания:

– нахождение выражения для интегрального соотношения Кармана.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

5. Турбулентный пограничный слой и логарифмический закон:

Требуется описать структуру турбулентного пограничного слоя вблизи стенки. Вывести логарифмический закон распределения скорости для логарифмической области.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Структура турбулентного пограничного слоя вблизи стенки:

Вязкий подслой (ламинарный подслой): Тонкий слой вблизи стенки, где преобладают вязкие напряжения. Турбулентные пульсации подавлены.

Переходная область (буферный слой): Область, где вязкие и турбулентные напряжения сопоставимы по величине.

Логарифмическая область (турбулентное ядро): Область, где преобладают турбулентные напряжения. Распределение скорости описывается логарифмическим законом.

Внешняя часть пограничного слоя: Область, где турбулентные пульсации наиболее интенсивны и влияние стенки незначительно.

В логарифмической области турбулентное напряжение τt постоянно и примерно равно касательному напряжению на стенке  

Используем гипотезу Прандтля о пути перемешивания: , где l - путь перемешивания.

Примем, что путь перемешивания пропорционален расстоянию от стенки: , где κ - постоянная Кармана (κ ≈ 0.41).

Тогда 

, где  - динамическая скорость.

Интегрируя это уравнение, получим: , где C - константа интегрирования.

Чтобы учесть влияние вязкого подслоя, введем безразмерные переменные:

 - безразмерное расстояние от стенки.

 - безразмерная скорость.

Тогда логарифмический закон примет вид:, где B - константа (B ≈ 5.0 - 5.5).

Логарифмический закон описывает распределение скорости в логарифмической области турбулентного пограничного слоя. Он связывает безразмерную скорость с безразмерным расстоянием от стенки и содержит две эмпирические константы: постоянную Кармана и аддитивную константу B.

Ответ: , где B - константа (B ≈ 5.0 - 5.5).

Критерии оценивания:

– нахождение выражения для логарифмического закона распределения скорости для логарифмической области.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

6. Влияние продольного градиента давления и отрыв:

Требуется объяснить, как продольный градиент давления влияет на пограничный слой и возникновение отрыва. Описать, что происходит в точке отрыва.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Продольный градиент давления: Изменение давления вдоль направления течения.

Благоприятный градиент давления : Давление уменьшается по направлению течения. Он ускоряет поток в пограничном слое, уменьшает его толщину и делает его более устойчивым к отрыву.

Неблагоприятный градиент давления : Давление увеличивается по направлению течения. Он замедляет поток в пограничном слое, увеличивает его толщину и способствует возникновению отрыва.

Влияние на профиль скорости: Неблагоприятный градиент давления приводит к тому, что профиль скорости вблизи стенки становится менее полным и более искривленным. Скорость вблизи стенки уменьшается.

Отрыв пограничного слоя: Отрыв происходит, когда неблагоприятный градиент давления настолько силен, что поток вблизи стенки замедляется до нуля, и возникает обратное течение.

Точка отрыва:

Касательное напряжение на стенке становится равным нулю: .

Градиент скорости на стенке равен нулю: .

За точкой отрыва образуется область обратного течения и пограничный слой отделяется от поверхности, образуя вихревую область.

Вывод: Неблагоприятный градиент давления является ключевым фактором, приводящим к отрыву пограничного слоя. В точке отрыва касательное напряжение на стенке и градиент скорости обращаются в ноль.

Ответ: Неблагоприятный градиент давления является ключевым фактором, приводящим к отрыву пограничного слоя. В точке отрыва касательное напряжение на стенке и градиент скорости обращаются в ноль.

Критерии оценивания:

– объяснение влияния продольного градиента давления на пограничный слой и возникновение отрыва;

– описание происходящего в точке отрыва.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

7. Метод Кармана-Польгаузена:

Задан полиномиальный профиль скорости четвертой степени: , где U - скорость внешнего потока, δ - толщина пограничного слоя, a, b, c, d - константы.

Требуется применить метод Кармана-Польгаузена для оценки толщины ламинарного пограничного слоя на плоской пластине.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Граничные условия:

y = 0: u = 0,  (на стенке)

y = δ: u = U, (на внешней границе)

Определение констант: Подставляя граничные условия в выражение для u(y) и его производные, получим:

a = 2, b = 0, c = -2, d = 1. Тогда 

Интегральное соотношение Кармана для плоской пластины :



Вычисление толщины потери импульса:



После интегрирования получим:



Вычисление касательного напряжения на стенке:



Подстановка в интегральное соотношение Кармана:



Решение дифференциального уравнения:



Примем, что δ(0) = 0, тогда C = 0.



Получили оценку для толщины ламинарного пограничного слоя на плоской пластине: . Этот результат близок к точному решению Блазиуса , что показывает эффективность метода Кармана-Польгаузена.

Ответ: .

Критерии оценивания:

– нахождение оценки толщины ламинарного пограничного слоя на плоской пластине.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5

8. Аналогия между теплопередачей и сопротивлением:

Требуется объяснить аналогию между теплопередачей и сопротивлением тела в потоке вязкого газа. Как связаны число Нуссельта (Nu), число Рейнольдса (Re) и число Прандтля (Pr).

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 45 мин.

Ожидаемый результат:

Суть аналогии:

Существует формальная аналогия между процессами переноса импульса (вязкость) и переноса тепла. Оба процесса связаны с диффузией соответствующих величин (импульса и энергии) в пограничном слое.

Сопротивление тела: Сопротивление тела определяется касательным напряжением на стенке (τw), которое связано с градиентом скорости в пограничном слое (вязкостью).

Теплопередача: Теплопередача определяется тепловым потоком (q), который связан с градиентом температуры в пограничном слое (теплопроводностью).

Числа подобия: Безразмерные числа характеризуют интенсивность этих процессов:

Число Рейнольдса (Re):  (отношение инерционных сил к вязким силам).

Число Нуссельта (Nu):  (отношение конвективного теплообмена к кондуктивному), где h - коэффициент теплоотдачи, k - теплопроводность.

Число Прандтля (Pr):  (отношение диффузивности импульса к диффузивности тепла), где ν - кинематическая вязкость, a - коэффициент температуропроводности, cp - удельная теплоемкость.

Связь между Nu, Re и Pr (пример): Для ламинарного пограничного слоя на плоской пластине существует приближенная зависимость: . Эта формула показывает, что теплопередача увеличивается с ростом Re и Pr.

Вывод: Аналогия между теплопередачей и сопротивлением тела позволяет использовать результаты, полученные для одной задачи, для оценки характеристик другой. Числа Nu, Re и Pr являются ключевыми параметрами, определяющими интенсивность этих процессов.

Ответ: Аналогия между теплопередачей и сопротивлением тела позволяет использовать результаты, полученные для одной задачи, для оценки характеристик другой. Числа Nu, Re и Pr являются ключевыми параметрами, определяющими интенсивность этих процессов.

Критерии оценивания:

– объяснение аналогии между теплопередачей и сопротивлением тела в потоке вязкого газа;

– объяснение связи чисел Нуссельта (Nu), Рейнольдса (Re) и Прандтля (Pr).

Компетенции (индикаторы): ОПК-3, ОПК-5